

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS  
ENTRE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE NORMAL Y UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS  
(TAPAS PLÁSTICAS DE BOTELLAS) POR VÍA SECA

AUTORES:

SHANE ALEXANDER AULESTIA VISCARRA  
SAMUEL FRANCISCO CHÁVEZ ROMERO

DIRECTOR:

ING. GUSTAVO YANEZ

QUITO, 2017

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien ha sido mi guía espiritual y me ha dado la oportunidad de poder culminar la carrera; a mis padres que han sido apoyo incondicional quienes son mi ejemplo de constancia, esfuerzo y tenacidad a quienes considero los mejores compañeros de vida que Dios pudo darme, a mi hermano quien me ha brindado su apoyo tanto en el ámbito deportivo como académico, mi mejor amigo; a mis profesores quienes han sido la guía de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, a Samuel quien ha sido un hermano a lo largo de esta trayectoria y además no hubiese sido posible este proyecto sin su ayuda, a mis profesores que me formaron académica y personalmente a lo largo de este camino y por último no menos importante a todos mis amigos tanto universitarios como deportivos quienes han sido mis compañeros a lo largo de esta trayectoria.

Muchas gracias

Shane Alexander Aulestia Viscarra

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a mi Madre Dolorosa por ser el fundamento de mi vida y permitirme haber llegado a este punto.

A mis papis Néstor y Ana, por su amor y confianza incondicional, además de ser el ejemplo de fortaleza, humildad, trabajo y perseverancia.

A mi hermano Néstor, por ser un apoyo incondicional, ejemplo de trabajo y amor a los demás. A mi tía Carmencita por tanto cariño que siempre me ha dado.

A mis fraternales amigos del colegio, Nicolás, Milton y Diego, porque siempre creyeron en mí.

A mi amigo y compañero de tesis Shane, sin el cual, este proyecto no hubiese sido posible.

A todos mis amigos de la universidad, por hacer del día a día, una experiencia inolvidable.

Al director de tesis, Ing. Gustavo Yáñez, quien supo brindarnos desde el primer día su comprensión y apoyo, para el avance del proyecto.

A los correctores, Ing. Wilson Cando, Ing. Jorge Bucheli e Ing. Patricio Castro, por su tiempo y experiencia.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la PUCE, y a todos los profesores, que permitieron que pueda culminar la carrera adquiriendo los mejores conocimientos.

Muchas gracias

Samuel Francisco Chávez Romero

## **DEDICATORIA**

Este logro quiero dedicárselo en primer lugar a Dios, por la vida, la salud y haberme brindado la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida. A mis padres por haberme dado la vida, su apoyo incondicional y haber formado a la persona que hoy en día soy. A mi hermano, a quien admiro mucho por ser mi compañero y amigo en toda mi vida estando en los buenos y malos momentos. Y a todas aquellas personas que estuvieron a lo largo de mi vida que me han permitido llegar a este punto.

Shane Alexander Aulestia Viscarra

A Dios y a mi Madre Dolorosa, por permitirme haber cumplido uno de los sueños más grandes que he tenido, y seguirme guiando a diario.

A mis papis Néstor y Ana, porque a pesar de los errores que pude cometer, nunca dejaron de confiar en mí, y me siguen formando como una persona de bien

A mi hermano Néstor, que es el mejor ejemplo de la persona que de debo ser; y a mi tía Carmencita, por su cariño.

A mis amigos del colegio Nicolás, Milton y Diego, porque siempre creyeron en mí.

Samuel Francisco Chávez Romero



## **RESUMEN**

El mundo crece a pasos agigantados, y por ende las necesidades de la población. El transporte es una herramienta fundamental dentro del desarrollo económico y social de una población, es por esto, que la ingeniería civil, debe estar preparada para brindar a las personas un mejor modo de vida a través de productos y procesos de mayor calidad, que le permitan al usuario trasladarse con comodidad y sobre todo seguridad.

La investigación que se desarrollará y explicará a continuación, tiene como principal objetivo la comparación de las propiedades mecánicas entre una mezcla asfáltica normal, y una mezcla asfáltica modificada con la adición de residuos de tapas plásticas recicladas, esto con el fin de proponer en un futuro cercano nuevas opciones de pavimentos que posean mejor desempeño a los que se tiene actualmente.

Se abarcará dos temas principales, por un lado, la investigación en cuanto al desarrollo de nuevos pavimentos, y por el otro, la importancia del reciclaje en la actualidad, al darle un fin a residuos plásticos.

Se hablará brevemente de las propiedades del polipropileno, que es el plástico con el que se realiza las tapas plásticas de botellas, además de un resumen de los materiales utilizados a lo largo de la investigación, tanto de los agregados, como del asfalto.

Para finalmente, a través de la interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio ensayando las mezclas asfálticas, exponer las conclusiones finales y las recomendaciones necesarias, para realizar los distintos procedimientos de la mejor manera, por ejemplo, el proceso de intercambio de material agregado-residuos de tapas plásticas.

## INTRODUCCIÓN

El mundo crece a diario, y cada vez hay más necesidades y requerimientos, es por lo mismo que todas las ciencias están en etapa de evolución constante, para poder superar nuevas barreras que se presenten. La medicina, la mecánica, las telecomunicaciones han avanzado de forma increíble en esta última década, y sin quedarse atrás la construcción ha adquirido nuevas técnicas y métodos, que fueron desarrollados a partir de muchos años de estudios de expertos en distintos campos, con el objetivo de crear construcciones más seguras, económicas y de mínimo impacto en el lugar de implantación.

Es así, que viendo que las necesidades de transporte en un país son de primera importancia para mantener el comercio y la economía en una forma dinámica, que permita el intercambio de productos, y el traslado de personas de un lugar a otro; se han realizado varios estudios desde hace varios con el objetivo de conseguir pavimentos con mejor desempeño que los que se posee o se poseía. Para lograr lo mencionado previamente, los investigadores han decidido mezclar el asfalto con varios productos como plásticos, aceites y residuos de llantas, con el objetivo de analizar un cambio en sus propiedades que permitan obtener resultados innovadores, para una posible futura implantación en la realidad. Por otro lado, también se ha intentado cambiar porciones específicas de agregado que es parte de la mezcla asfáltica por algún tipo de residuo o material que pueda brindar un cambio positivo en el desempeño mismo del pavimento.

Por otro lado, analizando la situación actual de manejo y aprovechamiento de residuos, es importante intentar direccionar el material que ha sido reciclado y procesado de algún modo, hacia un fin específico, que pueda causar un efecto positivo dentro de la sociedad. Es decir que estaríamos ganando en forma doble, ya que por un lado estamos apoyando a la reutilización de residuos, y por otro lado estamos buscando realizar mejoras en materiales o procesos existentes, reaprovechando estos productos. Lo que sin duda alguna conlleva un fuerte cambio positivo, ya que estamos disminuyendo el impacto ambiental que se genera el momento de producción de nuevas materias primas.

En la presente disertación previa a la obtención de título de ingeniero civil, se propone realizar una modificación de la mezcla asfáltica, reemplazando agregado por residuos triturados de tapas plásticas en el tamaño de agregado equivalente a lo retenido en el tamiz

número 8, que según la normativa ASTM, es de 2.36 milímetros. Esto, con el fin de obtener un pavimento que muestre un posible mejor desempeño en la realidad.

En cuanto a ensayos, sobre el agregado fino se realizará granulometría, gravedad específica, contenido de arena; sobre el agregado grueso, se realizará granulometría, gravedad específica, resistencia a los sulfatos, resistencia al desgaste por abrasión con la máquina de los ángeles. Para comprobar la calidad del asfalto, se realizaron los ensayos que permiten caracterizar al mismo como un asfalto AC-20, según la normativa INEN (INEN, 2014). Finalmente, sobre la mezcla asfáltica compactada, se realiza el ensayo Marshall, para obtener datos de estabilidad y flujo, así como el ensayo de Módulo de Rigidez.

Como resultado, se espera tener un mejoramiento de los parámetros físicos de las mezclas asfálticas, para en un futuro cercano, pensar en una implantación de esta investigación en las calles del Ecuador.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Comparar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica normal en caliente, con respecto a las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica modificada en caliente con residuos de tapas plásticas de botellas por vía seca.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los agregados y el asfalto escogidos para la presente disertación, comparando su comportamiento ante los ensayos, con respecto a los parámetros establecidos en las normativas.
- Establecer la dosificación óptima de los materiales (agregado y asfalto), para la realización de una mezcla asfáltica normal.
- Establecer metodología de mezclado y la dosificación óptima de los materiales para una mezcla asfáltica modificada con residuos de tapas plásticas.
- Obtener y comparar los resultados de los ensayos Marshall y de Módulo de Rigidez, tanto de la mezcla normal, así como de la mezcla modificada.

## **ALCANCE**

Esta investigación, evaluará y comparará los resultados obtenidos al ensayar las muestras que fueron realizadas con una mezcla asfáltica normal, así como las que fueron realizadas con una mezcla asfáltica modificada con residuos de tapas plásticas de botellas.

Se mostrarán cifras relacionadas al reciclaje de materiales plásticos en Ecuador, además se mostrará brevemente problemas sociales que impiden implementar una cultura de reciclaje de residuos plásticos en nuestro país.

Se evaluará la calidad de los materiales con los cuales se realizará la presente investigación, es decir que, a través de diversos ensayos de laboratorio, se establecerán datos comparativos de las propiedades físicas tanto de los agregados, así como del asfalto, para determinar si estos cumplen con los requerimientos establecidos por las normativas ASTM, INEN Y AASHTO.

Se determinarán los porcentajes óptimos de material necesarios para realizar una mezcla asfáltica en caliente, partiendo de la granulometría de los agregados pétreos, para luego determinar la cantidad requerida de material de cada tamiz, y finalmente obtener la cantidad óptima de asfalto, para realizar las briquetas de mezcla asfáltica.

Se determinará el mejor método de mezcla para realizar la modificación del pavimento con el porcentaje óptimo de plástico, como sustituto de material pétreo, esto es de suma importancia, ya que se trabajará con un material de diferentes características físicas a las de los agregados.

Se presentará un resumen de los datos obtenidos a lo largo de la investigación, con el objetivo de realizar una comparación entre una mezcla asfáltica normal, versus, una mezcla asfáltica modificada con residuos de tapas plásticas de botellas.

## **METODOLOGÍA**

En el presente, es de gran importancia cuidar el medio ambiente, porque tenemos un excesivo número de desechos que contaminan el ambiente y agotan recursos. Es así que, gracias al reciclaje, es posible tomar muchos materiales que han sido desechados en los hogares y demás puntos de las urbes, para agruparlos según su composición y darles un nuevo fin.

Esta investigación, se realizó con el propósito de buscar mejoras en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente, a través de la incorporación de residuos plásticos como reemplazo de material pétreo. De esta forma podemos darle un uso a este tipo de residuos, y a la vez realizar investigaciones, que nos permitan encontrar cambios en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en caliente, es decir, concluir si estas han mejorado, se mantienen o empeoran al haber sido modificados. Mediante la sustitución de agregado pétreo por residuos plásticos, podemos lograr una menor explotación de canteras, y un mayor fomento del reciclaje de material plástico.

Para iniciar esta investigación es importante caracterizar el material con el que se trabajará, es por esto, que se empezará analizando el agregado que poseemos. El agregado será sometido a varios ensayos como gravedad específica, desgaste a los sulfatos, abrasión con la máquina de Los Ángeles, granulometría, según corresponda si es agregado fino o grueso. Los resultados que se obtenga en estos ensayos, serán comparados con los indicadores que solicitan las normas ASTM, AASHTO e INEN, para asegurar la calidad de los materiales.

Una vez obtenida la granulometría de los agregados, se procede a buscar el porcentaje óptimo de mezcla de los mismos, es decir, que se determina la cantidad adecuada de material de cada tamiz, para lograr una buena distribución del agregado, según su tamaño.

Por otro lado, es importante caracterizar el asfalto con el que vayamos a trabajar, es por eso, que sometemos al asfalto a pruebas como ductilidad, punto de chispa e inflamación, ablandamiento, viscosidad, que deben cumplir con los parámetros que nos plantea la Norma INEN. Una vez que el asfalto haya pasado las pruebas para determinar que es un tipo AC-20, podemos empezar a trabajar con el mismo para las mezclas asfálticas.

Para determinar la cantidad óptima de asfalto, se realizarán pruebas con cinco distintos porcentajes del mismo, aplicados sobre la mezcla de agregado pétreo, para formar quince

briquetas en total, las mismas que deben ser pesadas cuando se encuentren a temperatura ambiente, para posteriormente ser pesadas en agua que se encuentre a 25°C, para finalmente ser sometidas al ensayo Marshall y determinar su estabilidad y flujo.

En cuanto a la mezcla modificada, se realizarán con cinco distintos porcentajes de plástico como parte de agregado, y se obtendrá el porcentaje óptimo del mismo (plástico). Las briquetas de asfalto modificado seguirán el mismo proceso de ensayo que las briquetas de asfalto normal.

Finalmente, se determinará el módulo de rigidez tanto de la mezcla asfáltica en caliente normal, como de la modificada (ambos con los porcentajes óptimos determinados anteriormente) y se realizarán las correspondientes comparaciones.

## INDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	20
1. GENERALIDADES .....	20
1.1. Residuo inorgánico .....	20
1.2. Polímero.....	22
1.2.1. Polipropileno .....	22
1.3. Reciclaje del polímero .....	23
CAPÍTULO II:.....	25
2. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES Y ENSAYOS SOBRE MATERIAL PÉTREO Y ASFALTO .....	25
2.1. Material pétreo.....	25
2.2. Descripción y origen.....	25
2.3. Caracterización del agregado.....	26
2.3.1. Agregado grueso.....	26
2.3.1.1. Ensayos sobre el agregado grueso .....	26
2.3.1.1.1. Gravedad específica .....	26
2.3.1.1.2. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto de la máquina de los ángeles .....	27
2.3.1.1.3. Resistencia a los sulfatos.....	28
2.3.2. Agregado fino.....	28
2.3.2.1. Ensayos sobre el agregado fino.....	29
2.3.2.1.1. Equivalente de arena .....	29
2.3.2.1.2. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino .....	29
2.4. Asfalto.....	30
2.4.1. Ensayos sobre el asfalto.....	31
2.4.1.1. Punto de ablandamiento de bitumen (aparato de anillo y bola) .....	31



2.4.1.2.	Ductilidad de materiales bituminosos .....	32
2.4.1.3.	Determinación de punto de chispa y llama de materiales bituminosos con el equipo de la copa abierta Cleveland.....	32
2.4.1.4.	Horno de película delgada rodante .....	33
2.4.1.5.	Penetración de materiales bituminosos .....	34
2.4.1.6.	Viscosidad del asfalto a elevadas temperaturas usando un viscosímetro rotatorio .....	34
2.4.1.7.	Densidad de materiales bituminosos semisólidos (método del picnómetro)..	35
2.5.	Granulometría .....	37
2.5.1.	Definición .....	37
2.5.2.	Granulometría del agregado grueso número 7 .....	37
2.5.3.	Granulometría del agregado grueso número 8 .....	37
2.5.4.	Granulometría del agregado fino .....	38
2.5.5.	Granulometría del plástico triturado.....	38
CAPÍTULO III	.....	39
3.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....		39
3.1.1.	Objetivos del diseño de una mezcla asfáltica .....	39
3.2.	Pavimento flexible .....	40
3.3.	Propiedades volumétricas de mezclas asfálticas compactadas .....	41
3.3.1.	Gravedad Específica Bulk, Gsb.....	41
3.3.2.	Gravedad Específica Aparente, Gsa .....	41
3.3.3.	Gravedad Específica Efectiva, Gse .....	41
3.3.4.	Vacíos en el Agregado Mineral (VAM) .....	42
3.3.5.	Contenido Efectivo de Asfalto (Pbe).....	42
3.3.6.	Vacíos de Aire (Va).....	42
3.3.7.	Vacíos llenos con Asfalto, (VAF) .....	42
3.4.	Método Marshall para diseño de mezclas .....	43

3.5.	Procedimiento para evaluación del método Marshall .....	44
3.6.	Consideraciones de estabilidad y flujo en el ensayo Marshall .....	44
3.6.1.	Estabilidad Marshall .....	44
3.6.2.	Flujo Marshall .....	45
3.7.	Tendencias y relaciones en los resultados de la evaluación del ensayo Marshall	46
3.8.	Método de tracción indirecta .....	46
3.8.1.	Procedimiento para realizar el ensayo de tracción indirecta sobre especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica .....	48
3.9.	Determinación del porcentaje asfalto de óptimo preliminar .....	49
3.10.	Propiedades mecánicas para el análisis de las briquetas .....	49
3.10.1.	Densidad Bulk .....	49
3.10.2.	Gravedad específica teórica máxima .....	50
3.10.3.	Vacíos de aire ( $V_a$ ) .....	51
3.10.4.	Vacíos de agregados ( $V_{agr.}$ ) .....	51
3.10.5.	Vacíos de agregado mineral (VAM) .....	52
3.10.6.	Vacíos llenos con asfalto (VAF) .....	52
3.11.	Mezcla original.....	52
3.11.1.	Obtención del porcentaje teórico de mezcla.....	52
3.11.2.	Obtención del porcentaje óptimo de asfalto .....	54
3.12.	Mezcla modificada con tapas plásticas trituradas .....	60
3.13.	Verificación de datos con porcentaje óptimo del polímero.....	66
3.14.	Módulo de Rigidez.....	66
CAPITULO IV .....		68
4.	COSTOS.....	68
4.1.	Mezcla original.....	68
4.1.1.	Materiales.....	68
4.1.2.	Volúmenes necesarios para realizar un $m^3$ de mezcla asfáltica original ...	68

4.1.3.	Evaluación económica de una mezcla original.....	69
4.2.	Mezcla modificada con el 5% de plástico.....	69
4.2.1.	Materiales.....	69
4.2.2.	Volúmenes necesarios para realizar un m <sup>3</sup> de mezcla asfáltica modificada con 5% de plástico.....	70
3.1.1.	Evaluación económica de una mezcla modificada con 5% de plástico .....	70
CAPITULO V .....		71
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1.	Conclusiones.....	71
5.2.	Recomendaciones .....	73
BIBLIOGRAFÍA .....		74

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 2-1. Tabla de resumen de agregados .....	30
Tabla 2-2. Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60°C a base de asfalto original.....	36
Tabla 2-3. Resultados de ensayos sobre asfalto .....	36
Tabla 2-4. Granulometría agregado grueso número 7 .....	37
Tabla 2-5. Granulometría agregado grueso número 8.....	37
Tabla 2-6. Granulometría agregado fino .....	38
Tabla 2-7. Granulometría plástico triturado .....	38
Tabla 3-1. Criterios de diseño de mezcla Marshall .....	49
Tabla 3-2. Límites de material pasante.....	53
Tabla 3-3. Porcentaje de mezcla de agregados.....	53
Tabla 3-4. Tabla de porcentajes de agregado mineral .....	53
Tabla 3-5. Resumen datos de mezcla original .....	56
Tabla 3-6. Resultados obtenidos con porcentaje óptimo .....	57
Tabla 3-7. Resumen datos de mezcla modificada .....	62
Tabla 3-8. Resultados con porcentaje óptimo de plástico .....	62
Tabla 3-9. Resultados con porcentaje óptimo de plástico (verificación) .....	66
Tabla 3-10. Módulo de rigidez .....	66
Tabla 4-1. Evaluación económica de materiales (mezcla original).....	69
Tabla 4-2. Evaluación económica de materiales (mezcla modificada) .....	70

## ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Porcentaje de clasificación del plástico.....	21
Ilustración 1-2. Porcentaje de razones de no clasificar el plástico en hogares.....	21
Ilustración 1-3. Porcentaje de razones de no clasificar el plástico en hogares.....	22
Ilustración 3-1. Estructura pavimento flexible .....	40
Ilustración 3-2. Equipo de ensayo para el método de tracción indirecta.....	47

## ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfica No. 3-1. Porcentaje de asfalto vs Densidad bulk.....	57
Gráfica No. 3-2. Porcentaje de asfalto vs Estabilidad .....	58
Gráfica No. 3-3. Porcentaje de asfalto vs Flujo.....	58
Gráfica No. 3-4. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de vacíos .....	59
Gráfica No. 3-5. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAM .....	59
Gráfica No. 3-6. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAF .....	60
Gráfica No. 3-7. Porcentaje de asfalto vs Densidad bulk (modificada con plástico) .....	63
Gráfica No. 3-8. Porcentaje de asfalto vs Estabilidad (modificada con plástico) .....	63
Gráfica No. 3-9. Porcentaje de asfalto vs Flujo (modificada con plástico).....	64
Gráfica No. 3-10. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de vacíos (modificada con plástico) .....	64
Gráfica No. 3-11. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAM (modificada con plástico) .....	65
Gráfica No. 3-12. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAF (modificada con plástico) .....	65

## ÍNDICE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1. Ensayo de gravedad específica del árido grueso .....	26
Fotografía 2-2. Máquina de los ángeles (ensayo de abrasión) .....	27
Fotografía 2-3. Ensayo de resistencia de sulfatos del agregado .....	28
Fotografía 2-4. Ensayo de densidad relativa del árido fino .....	29
Fotografía 2-5. Ensayo punto de ablandamiento de material bituminoso .....	31
Fotografía 2-6. Ensayo ductilidad de material bituminoso.....	32
Fotografía 2-7. Ensayo punto de chispa y llama de materiales bituminosos.....	33
Fotografía 2-8. Ensayo horno de película delgada rodante .....	33
Fotografía 2-9. Ensayo penetración de materiales bituminosos .....	34
Fotografía 2-10. Ensayo viscosidad de asfalto con viscosímetro .....	35
Fotografía 2-11. Ensayo densidad de material bituminoso (método del picnómetro).....	35
Fotografía 3-1. Proceso de elaboración con plástico .....	61

## ÍNDICE ANEXOS

Anexo No. 1. Informe de gravedad específica del agregado grueso No. 7 .....	76
Anexo No. 2. Informe de gravedad específica del agregado grueso No. 8 .....	77
Anexo No. 3. Informe de ensayo de abrasión agregado grueso No. 7 .....	78
Anexo No. 4. Informe de ensayo de abrasión de agregado grueso No. 8.....	79
Anexo No. 5. Informe de gravedad específica del agregado fino .....	80
Anexo No. 6. Informe de ensayo desgaste a los sulfatos .....	81
Anexo No. 7. Informe ensayo de equivalente de arena .....	83
Anexo No. 8. Informe ensayo densidad de materiales bituminosos.....	84
Anexo No. 9. Informe ensayo horno de película delgada rodante .....	85
Anexo No. 10. Informe ensayo ductilidad de materiales bituminosos .....	86
Anexo No. 11. Informe ensayo de penetración de materiales bituminosos .....	87
Anexo No. 12. Informe ensayo índice de penetración .....	88
Anexo No. 13. Informe ensayo punto de ablandamiento de bitumen .....	89
Anexo No. 14. Informe ensayo punto de chispa y llama (copa abierta Cleveland) .....	90
Anexo No. 15. Informe ensayo de viscosidad de asfaltos (Viscosímetro No.100) .....	91
Anexo No. 16. Informe ensayo de viscosidad de asfaltos (Viscosímetro No.200) .....	92
Anexo No. 17. Informe ensayo viscosidad cinemática de asfaltos .....	93
Anexo No. 18. Informe viscosidad de asfalto con viscosímetro rotatorio .....	94
Anexo No. 19. Informe carta de viscosidad .....	95
Anexo No. 20. Mezcla de agregados.....	96
Anexo No. 21. Curva granulométrica de mezcla de agregados.....	97
Anexo No. 22. Ensayo Marshall mezcla original al 5% .....	98
Anexo No. 23. Ensayo Marshall mezcla original al 5.5% .....	99
Anexo No. 24. Ensayo Marshall mezcla original al 6% .....	100
Anexo No. 25. Ensayo Marshall mezcla original al 6.5% .....	101
Anexo No. 26. Ensayo Marshall mezcla original al 7% .....	102
Anexo No. 27. Evaluación de estabilidad asfalto original .....	103
Anexo No. 28. Evaluación de flujo asfalto original .....	104
Anexo No. 29. Cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla original .....	105
Anexo No. 30. Ensayo Marshall de mezcla modificada (10% plástico) .....	106
Anexo No. 31. Ensayo Marshall de mezcla modificada (20% plástico) .....	108
Anexo No. 32. Ensayo Marshall de mezcla modificada (30% plástico) .....	110

Anexo No. 33. Ensayo Marshall de mezcla modificada (40% plástico) .....	111
Anexo No. 34. Ensayo Marshall de mezcla modificada (60% plástico) .....	113
Anexo No. 35. Cálculos de propiedades mecánicas de mezcla asfáltica con plástico .....	115
Anexo No. 36. Ensayo Marshall mezcla modificada (porcentaje óptimo de plástico 5%)	116
Anexo No. 37. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla original .....	117
Anexo No. 38. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla original .....	118
Anexo No. 39. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla modificada.....	119
Anexo No. 40. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla modificada.....	120
Anexo No. 41. Resumen Módulo de Rigidez de las mezclas asfálticas.....	121

# **CAPÍTULO I**

## **1. GENERALIDADES**

Ecuador genera 4.1 millones de toneladas de residuos sólidos, del millón reutilizable, solo se recicla el 24%. (España, 2017)

La generación de residuos, a nivel mundial, constituye uno de los mayores problemas ambientales de nuestro siglo. En el 2016, la generación de residuos en el Ecuador era de 4,1 millones de toneladas métricas al año, lo que representa la mitad de los residuos generados por parte de Estados Unidos (828 Kg/per cápita/año). Sin embargo, comparando con la región Andina, Ecuador se encuentra antes de Chile, Brasil, Perú y Colombia (UIEM, 2014)

Según, INEC (2016), se entiende por residuos todos aquellos materiales o restos que no tienen ningún valor económico para el usuario, pero sí un valor comercial para su recuperación e incorporación al ciclo de vida de la materia. Existe dos tipos de residuos: orgánicos e inorgánicos (tal como el papel, plástico y vidrio).

A nivel nacional en el año 2016, el 41,46% de los hogares clasificaron los residuos, es decir, cuatro de cada diez hogares ecuatorianos han realizado esta práctica. Entre el año 2010 y 2016, el porcentaje de clasificación obtuvo un aumento de 16,3 puntos porcentuales.

### **1.1. Residuo inorgánico**

Según, INEC (2016), aquel residuo que no presenta un origen biológico, es decir, no proviene de un organismo vivo directamente, sino que proviene del medio industrial o es el resultado de algún proceso no natural. Los productos de tipo industrial como por ejemplo las botellas, los plásticos, entre otros, son un ejemplo de este tipo de basura.

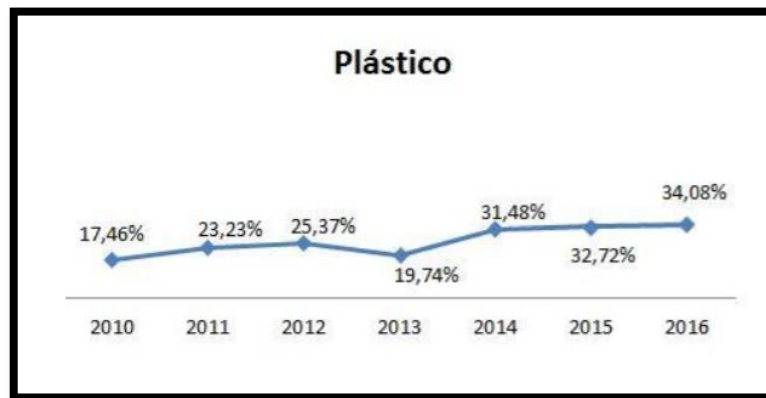
Recuperar materiales reciclables disminuye la cantidad de residuos sólidos que se depositan en los sistemas de relleno sanitario, y a la vez se prolonga la vida útil de estos residuos. Al disminuir el volumen de los residuos sólidos destinados a los sistemas de relleno sanitario, los costos de recolección y disposición final son menores. El uso de materiales reciclables como materia prima en la manufactura de nuevos productos ayuda a conservar recursos naturales renovables y no renovables. Dentro de los distintos tipos de residuos clasificados



en los hogares en el año 2016, el plástico fue el residuo con mayor clasificación (34,08%), en comparación al papel-cartón (24,53%) y vidrio (15,10%).

A continuación, se presenta una gráfica, que muestra el porcentaje de hogares que clasifican el plástico, según el año transcurrido.

Ilustración 1-1. Porcentaje de clasificación del plástico

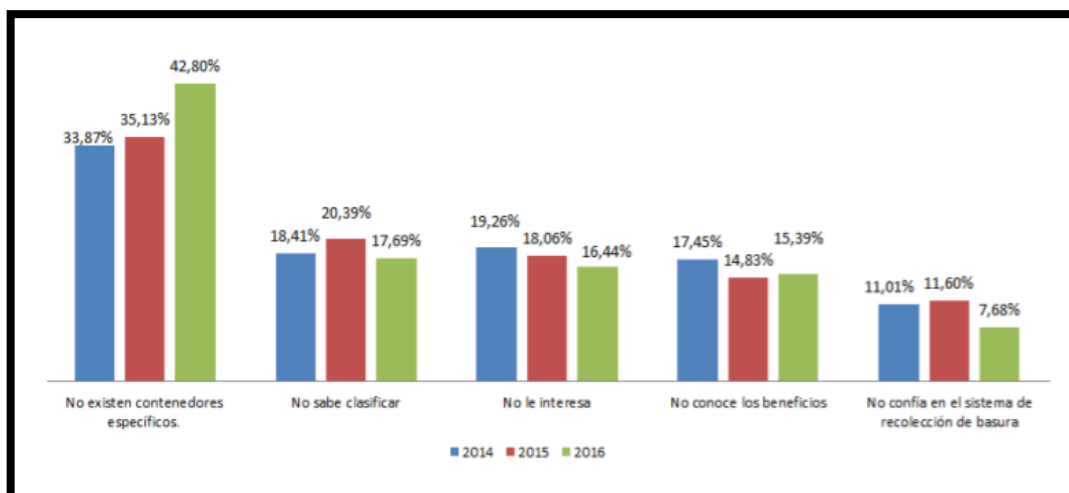


Fuente: INEC, 2016

A nivel nacional, el 58,54% de los hogares no clasificaron residuos durante el año 2016. La principal razón por la cual los hogares no clasificaron residuos es por falta de contenedores específicos o centros de acopios reciclables.

A continuación, se presenta un gráfico de las razones más recurrentes, por las que no se recicla en los hogares.

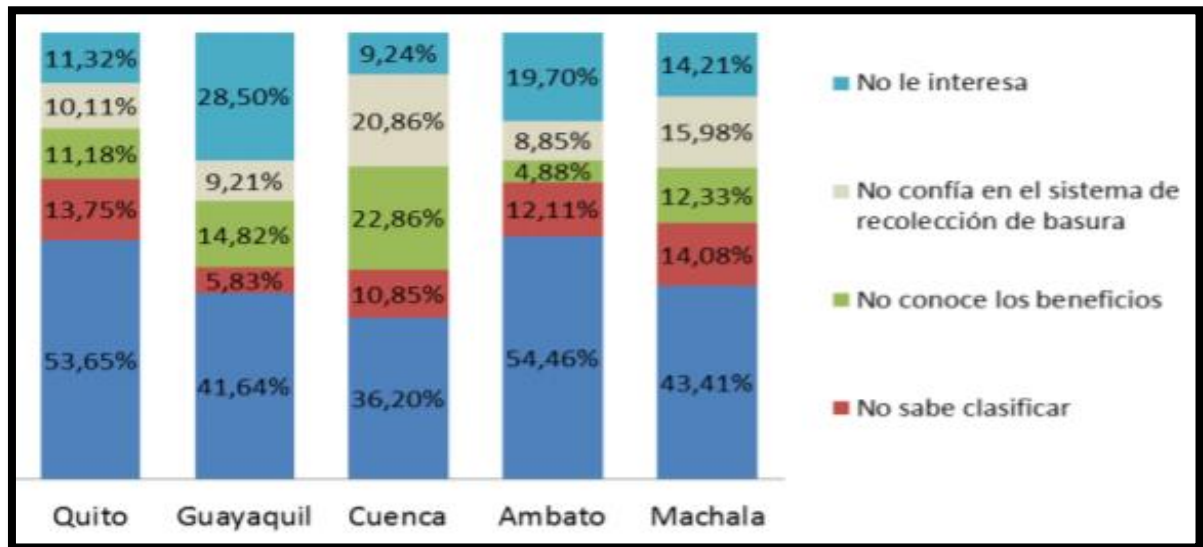
Ilustración 1-2. Porcentaje de razones de no clasificar el plástico en hogares



Fuente: (INEC, 2016)

Por otro lado, presentamos las razones por las cuales los hogares no clasifican residuos por ciudades, representadas porcentualmente.

Ilustración 1-3. Porcentaje de razones de no clasificar el plástico en hogares



Fuente: (INEC, 2016)

## 1.2. Polímero

Según la RAE (Real Academia Española), es un compuesto químico, natural o sintético, formado por la polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

### 1.2.1. Polipropileno

El Polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo.

Es un producto versátil, compatible con muchos de los procesamiento industriales existentes, resistente a altas temperaturas, es óptimo según la relación Costo vs Beneficio. Además de poseer buenas propiedades químicas y de resistencia. (PETROQUIM)

El componente principal de las tapas plásticas de envases, es el polipropileno.

Según, Billmeyer (2004), el polipropileno es el más ligero de los plásticos importantes, con una densidad de 0.905. Su alta cristalinidad le proporciona una elevada resistencia a la tracción, rigidez y dureza. La elevada relación de resistencia a peso resultante es ventajosa para muchas aplicaciones. Los artículos acabados tienen usualmente un brillo nuevo y una alta resistencia al deterioro. El elevado punto de fusión del polipropileno permite que las piezas bien moldeadas puedan ser esterilizadas y el polímero conserve una alta resistencia a la tracción a temperaturas elevadas.

La resistencia al impacto a baja temperatura del polipropileno es un tanto sensible a las condiciones de fabricación y ensayo. Esta sensibilidad es el resultado de la presencia de una transición alfa dominante en el propileno alrededor de 0°C, que produce una marcada pérdida de rigidez en las proximidades de esta temperatura. Así, la restricción del movimiento molecular que conduce al comportamiento frágil tiene lugar en el polipropileno a una temperatura no muy inferior a la del ambiente.

El polipropileno posee excelentes propiedades eléctricas y el carácter químico inerte y la resistencia a la humedad típicos de los polímeros de hidrocarburos. Se halla completamente libre de cuarteamiento por tensiones ambientales. No obstante, es inherentemente menos estable al calor, la luz y los ataques oxidantes que el polietileno, y debe estabilizarse con antioxidantes y absorbentes de luz ultravioleta para que su procesado y comportamiento a la intemperie sean satisfactorios.

Las aplicaciones de los moldeados por inyección, incluida la amplia utilización en el campo del automóvil y herramientas, suponen casi la mitad de la producción de polipropileno. Otro tercio se emplea como filamentos (sogas, cordelería y redes) y fibras para alfombras.

### **1.3. Reciclaje del polímero**

No todos pueden ser reciclados fácilmente, pero la importancia del mismo, cobra especial importancia desde la perspectiva ecológica. En el área del reciclaje existen los métodos llamados primario, secundario, terciario y cuaternario. El primario tiene que ver con la utilización de partes del plástico, pero en aplicaciones diferentes y se lo obtiene por recortes del material original. El secundario es el más usado y se refiere a la fusión, de los desechos

que son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor espectro de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original. El terciario es un proceso de tipo químico, consistentes en el aprovechamiento de los componentes químicos del plástico y, el cuarto, consiste en la incineración para recuperar energía. (Córdoba, 2010)

## **CAPÍTULO II:**

### **2. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES Y ENSAYOS SOBRE MATERIAL PÉTREO Y ASFALTO**

#### **2.1. Material pétreo**

Según (RONDON QUINTANA, 2015), la denominación técnica “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmado, sub-base y/o base granular. En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas. Aquellas con diámetro entre 0.075 y 2 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que son de diámetro inferior a 0.075 mm son reconocidas como tamaño de arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad,  $IP = 0$ ).

En mezclas asfálticas, los agregados pétreos conforman entre el 88% y el 96% de la masa y más del 75% del volumen. Dentro de las mezclas asfálticas, son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales depende en gran medida la evolución de los mecanismos de daño que ocurren en mezclas asfálticas como son el ahuellamiento, la fatiga, y el daño por humedad. Los agregados pétreos deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad para conformar mezclas asfálticas.

#### **2.2. Descripción y origen**

Todos los agregados pétreos utilizados en esta investigación, fueron provenientes de la planta de Holcim, ubicada en Pifo.

Se consideraron estos agregados, ya que Holcim, es una empresa seria, que produce materiales de alta calidad, limpios de impurezas (arcillas, sales, materia orgánica), y que, sobre todo, cumplen con la normativa técnica ASTM e INEN.

A pesar de esto, para que los resultados de esta investigación sean los mejores, en el Laboratorio de materiales de construcción de la PUCE, se realizaron todos los ensayos necesarios sobre los agregados, garantizando así la calidad de los resultados que se obtengan dentro de todo el proceso.

## **2.3. Caracterización del agregado**

### **2.3.1. Agregado grueso**

Se conoce como agregado grueso al material proveniente de la desintegración de la roca de origen volcánico y que por su tamaño queda retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm). Su forma, textura y gradación lo hacen ideal para la fabricación de todo tipo de concreto: estructural, de alta resistencia, prefabricados, pavimentos, entre otros. (HOLCIM, s.f.)

En esta investigación, se utilizó dos tipos de agregado grueso, uno etiquetado como agregado grueso número 7, que tiene un tamaño máximo nominal de 12.5 mm, mientras que el otro tipo de agregado grueso es el número 8, que cuenta con un tamaño máximo nominal de 9.5mm.

#### **2.3.1.1. Ensayos sobre el agregado grueso**

##### *2.3.1.1.1. Gravedad específica*

La gravedad específica permite determinar la densidad promedio de las partículas del árido, con esto se puede conocer el volumen que van a ocupar dentro de una mezcla ya sea de concreto, bitúmenes, entre otras. (ASTM C127, 2015)

Fotografía 2-1. Ensayo de gravedad específica del árido grueso



*2.3.1.1.2. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto de la máquina de los ángeles*

Este método de ensayo es para agregado menor a 1.5 pulgadas. El método de Los Ángeles es una medida de la degradación de los agregados minerales o graduaciones normalizadas resultantes de la combinación de acciones, incluyendo la abrasión o desgaste, impacto y molido en el tambor circular de rotación que contiene un número específico de esferas metálicas, el número de esferas, depende de la graduación de la muestra de ensayo. Cuando rota el tambor, un plato toma la muestra y las esferas de acero, rotándolas hasta que se caigan en el lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto-choque. El contenido al girar dentro del tambor con una acción de raer y moler hasta que el plato y los ciclos se repitan. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el porcentaje de degradación. ( ASTM INTERNATIONAL, 2003)

Fotografía 2-2. Máquina de los ángeles (ensayo de abrasión)



#### 2.3.1.1.3. Resistencia a los sulfatos

El ensayo permite conocer el desempeño de los agregados expuestos a las condiciones ambientales reales, este comportamiento se logra bañando de manera periódica al material en soluciones saturadas ya sea de sulfato de magnesio o sulfato de sodio seguido de un secado en el horno a 110°C de manera parcial. Este procedimiento pretende simular los efectos que pueden generarse en los agregados expuestos a condiciones ambientales de congelamiento y descongelamiento.

Se debe considerar que el ensayo es presenta gran imprecisión, por lo que no debe ser considerado como criterio definitivo para el rechazo del agregado. (NTE INEN 863,2011)

Fotografía 2-3. Ensayo de resistencia de sulfatos del agregado



#### 2.3.2. Agregado fino

Se conoce como agregado fino al producto que proviene de la desintegración de la roca volcánica y que por su tamaño pasa el tamiz 4 y queda retenido en el tamiz número 200.

Arena manufacturada es el producto de tres o más procesos de trituración y de granulometría de 0 – 4.75mm que satisface con calidad homogénea la producción de: mezclas asfálticas, adoquines, bloques y la fabricación de concretos y morteros. (HOLCIM, s.f.)



### 2.3.2.1. Ensayos sobre el agregado fino

#### 2.3.2.1.1. *Equivalente de arena*

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en suelos o agregados finos.

Se fundamenta en liberar de la muestra de ensayo los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una solución coagulante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, determinando su contenido respecto de las partículas de mayor tamaño. (LOEMCO, FdA, AENOR, 2000)

#### 2.3.2.1.2. *Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*

Este método cubre la determinación de la densidad media de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de vacíos entre partículas), y la absorción del agregado fino. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en (kg/m<sup>3</sup>) ó (lb/ft<sup>3</sup>) es expresada como secada al horno, saturada superficialmente seca o densidad aparente, igualmente la densidad relativa.

Fotografía 2-4. Ensayo de densidad relativa del árido fino



Tabla 2-1. Tabla de resumen de agregados

TABLA DE RESUMEN DE LOS AGREGADOS						
Descripción	Valor	Unidad	Min	Max	Observación	Referencia
<b>AGREGADO GRUESO No. 7</b>						
Gravedad Específica Bulk	2,507	gr/cm3				NTE INEN 857
Gravedad Específica SSS	2,562	gr/cm3				NTE INEN 857
Gravedad Específica AP	2,654	gr/cm3				NTE INEN 857
% Absorción	2,2	%				NTE INEN 857
Abrasión	27	%		50	CUMPLE	ASTM C-131
Resistencia a los Sulfatos	1,15	%	-	12	CUMPLE	NTE INEN 0872
<b>AGREGADO GRUESO No. 8</b>						
Gravedad Específica Bulk	2,521	gr/cm3				NTE INEN 857
Gravedad Específica SSS	2,581	gr/cm3				NTE INEN 857
Gravedad Específica AP	2,682	gr/cm3				NTE INEN 857
% Absorción	2,38	%				NTE INEN 857
Abrasión	26	%		50	CUMPLE	ASTM C-131
Resistencia a los Sulfatos	1,85	%	-	12	CUMPLE	NTE INEN 0872
<b>AGREGADO FINO</b>						
Gravedad Específica Bulk	2,558	gr/cm3				NTE INEN 856
Gravedad Específica SSS	2,619	gr/cm3				NTE INEN 856
Gravedad Específica AP	2,724	gr/cm3				NTE INEN 856
% Absorción	2,38	%				NTE INEN 856
Resistencia a los Sulfatos	7,97	%	-	12	CUMPLE	NTE INEN 0872
Equivalente de Arena	73	%	50	-		NTE INEN 3124

## 2.4.Asfalto

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto de gran calidad, sobre el que se fundamenta gran parte de la construcción de los firmes flexibles, denominados también firmes asfálticos o firmes bituminosos, en virtud de este dúctil, flexible y tenaz material que los constituye y caracteriza. (RODRIGUEZ, 2004).

#### **2.4.1. Ensayos sobre el asfalto**

##### **2.4.1.1. Punto de ablandamiento de bitumen (aparato de anillo y bola) (ASTM D36/D36M-12)**

Según (RONDON QUINTANA, 2015), es un ensayo que mide la temperatura, a la cual el asfalto pasa de un estado sólido a uno en el cual fluye como un líquido. Esta temperatura es muchas veces utilizada como indicador empírico de máxima temperatura de operación de las mezclas en servicio. Lo ideal es que la mezcla no experimente durante su vida útil en el pavimento dicha temperatura, ya que se experimentaría gran disminución de su rigidez.

Fotografía 2-5. Ensayo punto de ablandamiento de material bituminoso



#### **2.4.1.2. Ductilidad de materiales bituminosos (ASTM D113-07)**

Según (RONDON QUINTANA, 2015) lo ideal en una mezcla asfáltica es que el asfalto experimente un comportamiento dúctil bajo carga durante su vida útil en el pavimento. Un comportamiento contrario o frágil en una mezcla puede inducir microfisuración térmica a bajas temperaturas de servicio y rompimiento prematuro de la mezcla bajo carga repetida. Mezclas asfálticas dúctiles pueden desarrollar deformaciones permanentes o elásticas bajo carga repetida sin que el material experimente fallas estructurales, excepto cuando dichas cargas o deformaciones excedan los máximos permitidos por su resistencia. El problema de una mezcla asfáltica frágil es que bajo carga no puede experimentar deformación ya que inmediatamente falla.

Fotografía 2-6. Ensayo ductilidad de material bituminoso



#### **2.4.1.3. Determinación de punto de chispa y llama de materiales bituminosos con el equipo de la copa abierta Cleveland (ASTM d92-12b)**

Según (RONDON QUINTANA, 2015) entre mayor sea el punto de inflamación, menor es la probabilidad de experimentar problemas de combustión e inflamación durante los procesos de almacenamiento del asfalto y de fabricación de las mezclas en las plantas asfálticas.

Fotografía 2-7. Ensayo punto de chispa y llama de materiales bituminosos



#### 2.4.1.4. Horno de película delgada rodante (ASTM d2872-12)

Según (RONDON QUINTANA, 2015), este ensayo es utilizado para evaluar la resistencia al envejecimiento a corto plazo del asfalto, entendiéndose por corto plazo aquel que experimenta el ligante durante los procesos de almacenamiento del asfalto, de fabricación de la mezcla en la planta asfáltica y de expansión y compactación en obra. Un asfalto envejecido genera disminución en la adherencia entre el agregado pétreo y el ligante y un cambio en el comportamiento dúctil a frágil del ligante y de la mezcla asfáltica, acompañado con un incremento en su rigidez.

Fotografía 2-8. Ensayo horno de película delgada rodante



#### **2.4.1.5. Penetración de materiales bituminosos**

Según (RONDON QUINTANA, 2015), es la medición de manera directa de la consistencia del asfalto y de manera indirecta de su rigidez, entendiéndose que, bajo las mismas condiciones de ensayo, el asfalto más rígido será aquel en el cual la aguja penetre menos.

Fotografía 2-9. Ensayo penetración de materiales bituminosos



#### **2.4.1.6. Viscosidad del asfalto a elevadas temperaturas usando un viscosímetro rotatorio (ASTM d44/d4402m-12)**

Según (RONDON QUINTANA, 2015), puede ser entendida como la resistencia que tiene un material a fluir sobre una superficie. En el caso de los pavimentos, es un parámetro físico que ha sido utilizado principalmente para determinar de manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas (temperatura de mezclado entre el agregado pétreo y el asfalto en la planta de asfalto) y de extensión y compactación de dichas mezclas en el laboratorio. Adicionalmente, ofrece una medida indirecta de la consistencia y de la rigidez que presenta el asfalto, siendo por lo general el más rígido, aquel que experimenta mayor viscosidad.

Fotografía 2-10. Ensayo viscosidad de asfalto con viscosímetro

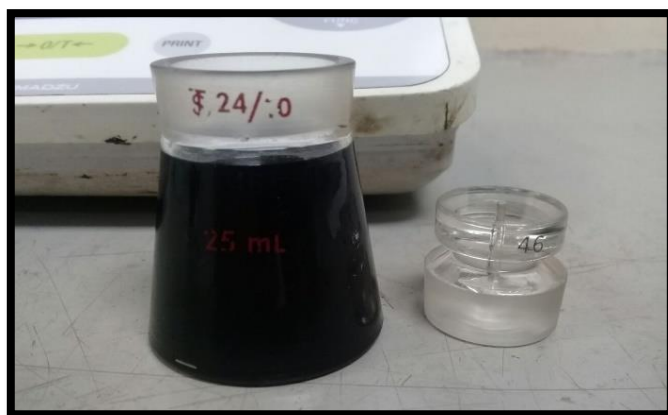


#### **2.4.1.7. Densidad de materiales bituminosos semisólidos (método del picnómetro) (ASTM d70-09)**

Según (RONDON QUINTANA, 2015), es un ensayo utilizado principalmente para ayudar a determinar la composición volumétrica de mezclas asfálticas en caliente.

Los valores de densidad, son utilizados para relacionar el volumen en unidades de masa, y para corregir mediciones de volúmenes a cierta temperatura, con respecto a una temperatura estándar. (ASTM D70-09)

Fotografía 2-11. Ensayo densidad de material bituminoso (método del picnómetro)



En la presente disertación, se está utilizando un asfalto de tipo AC 20, el mismo, que según la (INEN, 2014), debe cumplir ciertos parámetros, para ser clasificado como tal (AC 20).

Tabla 2-2. Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60oC a base de asfalto original

TABLA 7 Requisitos para Asfalto Cemento gradual Viscosidad a 60 °C [140 °F] a base de asfalto original												
Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, °C	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración <sup>a</sup>		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad <sup>a</sup> , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
<sup>a</sup> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.												
<sup>a</sup> Índice de penetración = $\frac{1952-500 \log pen - 20 SP}{50 \log pen - SP - 120}$												
donde:												
pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
<sup>c</sup> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

Fuente: Tabla 7. (INEN, 2014), Página 1

A continuación, se presentará los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre el asfalto:

Tabla 2-3. Resultados de ensayos sobre asfalto

ENSAYO	UNIDAD	VALOR REFERENCIAL AC 20		VALOR OBTENIDO	EVALUACIÓN
		Mínimo	Máximo		
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60 °C	Pa s	200+-40		204,442	CUMPLE
VISCOCIDAD CINEMÁTICA 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	300	....	379,811	CUMPLE
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	232	....	322	CUMPLE
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25°C	Kg/m3	99	....	1008,836	CUMPLE
ÍNDICE DE PENETRACIÓN		De -1,5 a +1		-1,4	CUMPLE
VISCOCIDAD 60°C	Pa s	....	800	792,024	CUMPLE
CAMBIO DE MASA	% w/w	....	1	0,029	CUMPLE
DUCTILIDAD 25°C	cm	50	....	51	CUMPLE



## **2.5. Granulometría**

### **2.5.1. Definición**

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda. (I.N.V.E, 2007)

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados. (I.N.V.E, 2007)

### **2.5.2. Granulometría del agregado grueso número 7**

Tabla 2-4. Granulometría agregado grueso número 7

<b>Tamiz</b>	<b>Peso retenido parcial (g)</b>	<b>Peso reternido acumulado (g)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje pasante (%)</b>
<b>1</b>	0	0	0	100
<b>½</b>	1575	1575	12,65	87,35
<b>3/8</b>	4605	6180	49,64	50,36
<b>4</b>	6270	12450	100	0

### **2.5.3. Granulometría del agregado grueso número 8**

Tabla 2-5. Granulometría agregado grueso número 8

<b>Tamiz</b>	<b>Peso retenido parcial (g)</b>	<b>Peso reternido acumulado (g)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje pasante (%)</b>
<b>1</b>	0	0	0	100
<b>½</b>	30	30	0,29	99,71
<b>3/8</b>	1145	1175	11,37	88,63
<b>4</b>	9160	10335	100	0

#### 2.5.4. Granulometría del agregado fino

Tabla 2-6. Granulometría agregado fino

<b>Tamiz</b>	<b>Peso retenido parcial (g)</b>	<b>Peso reternido acumulado (g)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje pasante (%)</b>
4	0	0	0	100
8	352,56	352,56	26,89	73,11
30	572,5	925,06	70,56	29,44
50	156,68	1081,74	82,51	17,49
100	112,17	1193,91	91,07	8,93
200	58,57	1252,48	95,53	4,47
Bandeja	58,57	1311,05	100	0

#### 2.5.5. Granulometría del plástico triturado

Tabla 2-7. Granulometría plástico triturado

<b>Tamiz</b>	<b>Peso retenido parcial (g)</b>	<b>Peso reternido acumulado (g)</b>	<b>Porcentaje retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje pasante (%)</b>
4	0	0	0	100
8	301,5	301,5	60,28	39,72
16	136,4	437,9	87,54	12,46
30	45,3	483,2	96,60	3,40
50	12,4	495,6	99,08	0,92
100	4,6	500,2	100	0
200	0	500,2	100	0
Bandeja	0	500,2	100	0

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico, que pueden ser fabricadas en plantas mezcladoras o in-situ. En todo pavimento se busca que la mezcla a realizarse ya sea en frío o en caliente presente buenas propiedades mecánicas, entre las principales:

- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento
- Resistencia a deformaciones permanentes
- Impermeabilidad
- Durabilidad
- Economía

Los diversos tipos de mezclas asfálticas están conformadas por agregados pétreos con granulometrías y requisitos mínimos de calidad diferentes. Así mismo, presentan diferencias en cuanto a su función dentro de la estructura de pavimento y al tipo de material asfáltico o ligante que se utilizan (RONDON QUINTANA, 2015)

El diseño de una mezcla asfáltica demanda de atención a los procedimientos requeridos. Es decir, que se deben seguir procedimientos específicos ya establecidos. Pero, también es importante, poseer la experiencia necesaria en el laboratorio para poder evaluar la mezcla que se está realizando, según los requerimientos que va a poseer la misma. (ASHPHALT INSTITUTE, 1977)

#### **3.1.1. Objetivos del diseño de una mezcla asfáltica**

El diseño de la mezcla asfáltica, tiene por objetivo global determinar la manera rentable de que el pavimento, pueda cumplir con los siguientes parámetros:

1. Suficiente cantidad de asfalto, para asegurar un pavimento durable.
2. La mezcla asfáltica debe poseer suficiente estabilidad para satisfacer la demanda del tráfico sin presentar distorsiones o desplazamientos.

3. La mezcla compactada, debe presentar suficiente cantidad de vacíos, para permitir una leve compactación extra debida al paso del tráfico, y, por otro lado, esto también permite la expansión del asfalto sin presentar una exudación del mismo, ni pérdida de la estabilidad.
4. Debe existir un máximo contenido de vacíos, para limitar la permeabilidad de aire y humedad en la mezcla.
5. Debe ser una mezcla trabajable, que permita una colocación eficiente, sin segregación de los agregados y sin perder estabilidad, ni disminuir su desempeño.
6. Para mezclas superficiales, el agregado escogido, debe poseer una adecuada dureza y textura, que le permitirá a la mezcla, resistir ante situaciones desfavorables.

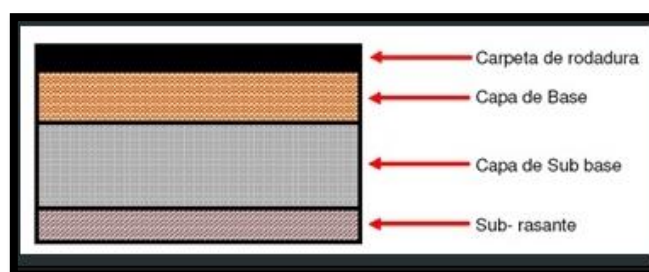
(ASHPHALT INSTITUTE, 1977)

### 3.2. Pavimento flexible

De acuerdo a (MONTEJO FONSECA, 2002), un pavimento flexible es, un tipo de pavimento formado por una capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

Según (Rondón Quintana, 2015), las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico. Se elaboran normalmente en plantas mezcladoras, pero en algunos casos pueden fabricarse in-situ.

Ilustración 3-1. Estructura pavimento flexible



Fuente: Morales Rosales, 2007

### **3.3. Propiedades volumétricas de mezclas asfálticas compactadas**

Las propiedades volumétricas de una mezcla asfáltica compactada como los vacíos de aire (Va), vacíos de agregado mineral (VAM), vacíos llenos con asfalto (VAF), y el contenido efectivo de asfalto (Pbe), dan una referencia del desempeño probable de la mezcla.

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto en distintos grados, ya que la proporción de absorción de agua o asfalto, varía con cada agregado. Existen tres métodos para medir la gravedad específica: ASTM Bulk, ASTM aparente y la gravedad específica efectiva. Las diferencias entre las gravedades específicas vienen dadas de los diferentes criterios del volumen agregado. (ASHPHALT INSTITUTE, 1977)

#### **3.3.1. Gravedad Específica Bulk, Gsb**

La proporción del peso en el aire, de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables) a una temperatura indicada, con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada, libre de gas, que posea igual densidad.

#### **3.3.2. Gravedad Específica Aparente, Gsa**

La proporción de peso en aire, de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura determinada, con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada libre de gas, que posea la misma densidad, a una temperatura establecida.

#### **3.3.3. Gravedad Específica Efectiva, Gse**

La proporción de peso en aire, de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables del asfalto) a una temperatura determinada, con respecto al peso en aire de un volumen de agua destilada de una misma densidad, a una temperatura determinada.

#### **3.3.4. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)**

Es el volumen de espacios vacíos intergranulares entre las partículas de agregado de una mezcla asfáltica compactada que incluye vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

#### **3.3.5. Contenido Efectivo de Asfalto (Pbe)**

Es el contenido total de asfalto de una mezcla asfáltica menos la porción de asfalto que se ha perdido por absorción en las partículas de agregados.

#### **3.3.6. Vacíos de Aire (Va)**

Es el volumen total de los pequeños huecos de aire entre las partículas de agregado recubierto totalmente de una mezcla asfáltica, expresada como porcentaje del volumen bulk de la mezcla asfáltica compactada.

#### **3.3.7. Vacíos llenos con Asfalto (VAF)**

Es la porción del volumen de espacios vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VAM) que están ocupado por asfalto efectivo.

El instituto del asfalto, recomienda que el VAM para mezclas asfálticas compactadas debe ser calculada en términos de la gravedad específica del agregado,  $G_{sb}$ . La gravedad específica efectiva debe ser la base para calcular los vacíos de aire en una mezcla asfáltica.

Vacíos de agregado mineral (VAM) y vacíos de aire ( $V_a$ ), son expresados como porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenados con asfalto (VAF) es el porcentaje de VAM que se ha llenado con asfalto efectivo.

### **3.4. Método Marshall para diseño de mezclas**

El método Marshall de diseño de mezcla se utiliza casi en todas partes en el mundo. Es el método de diseño de mezcla predominante para pavimentos de vías y aeropuertos. (ASPHALT INSTITUTE, 2014)

Este ensayo es realizado a la mezcla asfáltica, para determinar el contenido óptimo de asfalto, para poder garantizar la suficiente estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones, un buen recubrimiento de partículas para lograr un pavimento durable incluyendo el factor de compactación. (HUGO ERNEY, 2010)

Según, Asphalt Institute (2014), para una sola gradación de agregados seleccionada, se utilizan cinco diferentes contenidos de asfalto que se prueban según criterios volumétricos y de resistencia para seleccionar el contenido óptimo de asfalto.

Los resultados de la prueba siempre deben informar el promedio de tres mezclas idénticas compactadas. La selección del contenido de asfalto, también depende del tráfico, clima y experiencia con materiales locales utilizados.

En la mayoría de los casos, se debe utilizar un porcentaje de asfalto, que permita tener un 4 por ciento de vacíos de aire.

El procedimiento para el método Marshall comienza con la preparación de los especímenes de prueba. Los pasos preliminares para la preparación de la muestra son:

- Todos los materiales propuestos para el uso cumplen con los requisitos físicos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados cumplen con los requisitos de gradación de las especificaciones del proyecto.
- Con el fin de realizar análisis de densidad y vacíos, se determina la gravedad específica de todos los agregados utilizados en la mezcla y la gravedad específica del cemento asfáltico.

### **3.5. Procedimiento para evaluación del método Marshall**

En el método Marshall, cada espécimen compactado, debe ser evaluado y analizado a través de:

- Determinación de altura del espécimen.
- Determinación de la gravedad específica Bulk.
- Análisis de densidad y vacíos.
- Prueba de estabilidad y flujo

### **3.6. Consideraciones de estabilidad y flujo en el ensayo Marshall**

De acuerdo al, Asphalt Institute (2014), la estabilidad de Marshall es la carga máxima de resistencia obtenida aplicando una velocidad de deformación constante. El flujo Marshall es una medida de la deformación (elástica y plástica) de la muestra determinada durante el ensayo de estabilidad.

Si el flujo en el contenido de aglutinante óptimo seleccionado está por encima del límite especificado superior, la mezcla se considera demasiado plástica o inestable. Si el flujo está por debajo del límite especificado inferior, la mezcla se considera demasiado frágil. Los resultados de estabilidad y flujo dependen en gran medida del grado de aglutinante, la cantidad de aglutinante y la estructura del agregado.

#### **3.6.1. Estabilidad Marshall**

Según, Morales Cáceres (2007), el valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.



La estabilidad de una mezcla depende de su cohesión y su fricción interna. Por un lado, la fricción depende de las características que presente el agregado en cuanto a su forma y textura, es decir, que mientras más angular sea, mayor fricción presentará la mezcla, y por ende se tendrá un menor desplazamiento del agregado ante fuerzas provenientes del tráfico. Por otro lado, la cohesión de la mezcla, depende de la calidad que presente el asfalto que será utilizado, ya que, a mayor viscosidad del asfalto y menor temperatura del pavimento, hay mayor cohesión.

Con lo explicado anteriormente, es fácil pensar que mientras más alto sea el valor de la estabilidad Marshall, nuestra mezcla sigue mejorando, pero no es así, ya que, a mayores valores de estabilidad la rigidez aumenta, comprometiendo la durabilidad del pavimento.

A continuación, se presentará algunas causas y efectos de problemas que se pueden presentar en la estabilidad de un pavimento:

- 1.- El exceso de asfalto en la mezcla, puede producir exudación del asfalto, ahuellamiento y ondulaciones en la superficie del pavimento.
- 2.- Trabajar con agregado redondeado, con carencia de superficie angular, provoca ahuellamiento.
- 3.- El exceso de arena de tamaño medio presente en la mezcla, reduce la resistencia durante la compactación y luego, por un tiempo produce dificultad para la compactación.

(Morales Cáceres, 2007)

### **3.6.2. Flujo Marshall**

El flujo o fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito. (ASPHALT INSTITUTE, 2014)

### **3.7. Tendencias y relaciones en los resultados de la evaluación del ensayo Marshall**

- El valor de estabilidad aumenta con el aumento del contenido de asfalto hasta un máximo, después de lo cual la estabilidad disminuye.
- El valor del flujo aumenta constantemente con el aumento del contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos de aire, Pa, disminuye constantemente con el aumento del contenido de asfalto, llegando finalmente a un contenido mínimo de huecos.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VAM, generalmente disminuye (debido a una mejor compactación) a un valor mínimo, y luego aumenta con el aumento del contenido de asfalto, porque el agregado empieza a ser empujado por un aglutinante excesivo en la mezcla.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VAF, aumenta constantemente con el aumento del contenido de asfalto debido a que el VAM se está llenando de asfalto

(ASPHALT INSTITUTE, 2014)

### **3.8. Método de tracción indirecta**

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

Esta configuración de carga de este ensayo provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical, y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral.

Debido a que la respuesta del material depende de la temperatura en gran manera, ésta será una variable dentro del ensayo. El ensayo de tracción indirecta tiene validez para materiales de comportamiento fundamentalmente elástico y lineal. La norma indica el uso de una temperatura de  $25 \pm 1$  °C, pero permite el uso de otras temperaturas para analizar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio y sugiere que no se utilicen temperaturas

superiores al punto de reblandecimiento del ligante por ser predominante el carácter viscoso de las mezclas.

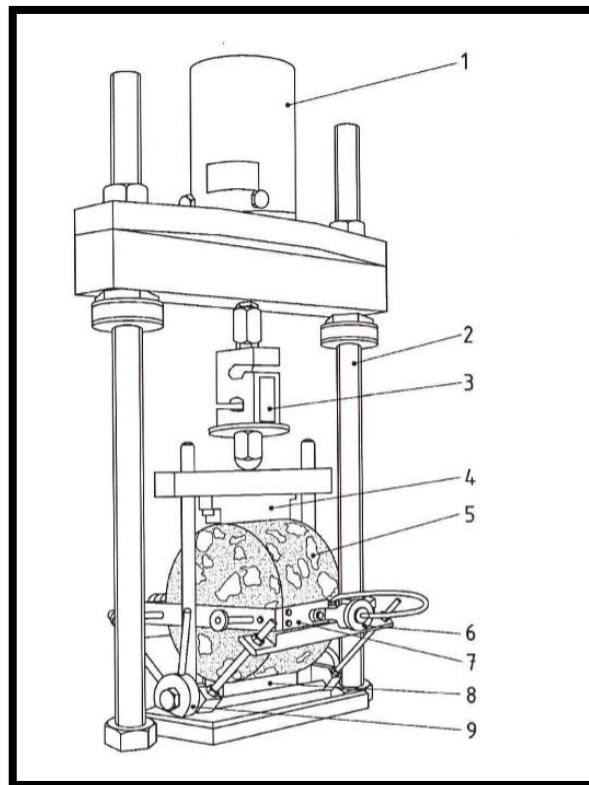
Como se ha comentado anteriormente, la principal ventaja del método es la sencillez de su metodología. Este es un factor muy valorado por todas aquellas instituciones que necesitan caracterizar de una forma rápida, fiable y económica los pavimentos que gestionan.

El ensayo de tracción indirecta no sólo da información de la resistencia a tracción indirecta, sino que también nos informa sobre propiedades elásticas resilientes (módulo de elasticidad estático o dinámico en función del tipo de carga aplicada), fisuración térmica, fisuración por fatiga, deformación permanente y puede utilizarse para evaluar el efecto de la humedad en mezclas bituminosas.

(Villar, 2006)

Ejemplo de equipo de ensayo para el método de tracción indirecta (AENOR, 2012)

Ilustración 3.8 . Equipo de ensayo para el método de tracción indirecta



Fuente: AENOR, 2012

## Leyenda

1. Actuador neumático de carga
2. Estructura de carga de acero
3. Celular de carga
4. Pletina superior de carga
5. Probeta
6. Ajuste de LVDT
7. Bastidor de montaje de LVDT
8. Pletina inferior de carga
9. Soporte de alineación de LVDT

### **3.8.1. Procedimiento para realizar el ensayo de tracción indirecta sobre especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica**

Llevar todas las muestras cilíndricas que se vayan a ensayar a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C.

El ensayo se puede realizar a otras temperaturas, pero se debe tener en cuenta que a temperaturas mayores la mezcla se puede volver más viscosa.

1. Tomar medidas de las dimensiones de alto y diámetro de las muestras cilíndricas.  
Es importante mencionar que se debe tomar solamente la muestra con la que se trabajará inmediatamente, esto con el fin de mantener la temperatura en las demás muestras.
2. Colocar y centrar la muestra dentro del bastidor de montaje.
3. Colocar la pletina superior de carga
4. Ajustar los deformímetros.
5. Colocar en forma vertical el soporte de alineación.
6. Ajustar la posición de la célula de carga hasta llegar a la posición de ensayo.
7. Ensayar.
8. Descargar la prensa.
9. Colocar en forma horizontal el soporte de alineación.
10. Retirar los deformímetros.
11. Desmontar la pletina superior de carga.
12. Girar la muestra cilíndrica 90 ° y centrarla.
13. Repetir los pasos 4, 5, 6, 7 y 8.

### 3.9. Determinación del porcentaje de asfalto de óptimo preliminar

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla en caliente, se selecciona considerando todos los datos discutidos anteriormente. En general, el Instituto de Asfalto recomienda elegir el contenido de asfalto que permita tener un contenido de vacíos de aire de aproximadamente el 4 por ciento. Si todas las propiedades de mezcla calculadas y medidas en base a este contenido de asfalto cumplen con los criterios de diseño de mezcla en la Tabla 7.2, entonces este es el contenido óptimo de aglutinante para el diseño de la mezcla. Sin embargo, si no se cumplen todos los criterios de diseño, entonces es necesario algún ajuste o puede ser necesario rediseñar la mezcla. (ASPHALT INSTITUTE, 2014)

Tabla 3.8-1. Criterios de diseño de mezcla Marshall

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: Tabla 405.5.4, tomada de MOP-001-F 2002, página 309.

### 3.10. Propiedades mecánicas para el análisis de las briquetas

#### 3.10.1. Densidad Bulk

En la determinación de la densidad Bulk, es necesario considerar que las briquetas deben ser ensayadas cuando hayan alcanzado la temperatura ambiente y las superficies se encuentren libres de residuos generados durante su elaboración, de esta manera, se reducen la cantidad de partículas que puedan alterar los resultados en el transcurso del ensayo. Para obtener el resultado es necesario hacer tres mediciones:

- Peso de la briqueta al aire (PA)
- Peso de la briqueta con superficie saturada seca (PS)
- Peso de la briqueta bajo el agua (PB)

Una vez que la muestra haya alcanzado la temperatura ambiente y se encuentre limpia, se pesará la briqueta al aire (PA), luego se sumerge la misma de 3 a 5 minutos en agua temperada a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , tiempo en que se estima se saturará la muestra, una vez estabilizada la briqueta se toma lectura de su peso (PB), para finalmente secar la superficie hasta que la misma se torne opaca y se procede a tomar la tercera lectura del ensayo (PS).

Con estos datos se procede a obtener la densidad Bulk de la muestra ensayada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Bulk} = \frac{\text{PA}}{\text{PS} - \text{PB}}$$

### **3.10.2. Gravedad específica teórica máxima (ASTM 2041)**

Es una propiedad fundamental de la mezcla que permite determinar en conjunto con otros parámetros:

- La cantidad de vacíos de aire en mezclas bituminosas
- La cantidad de bitumen que absorbe el agregado
- Valores referenciales para la compactación de mezclas bituminosas

El ensayo consiste en realizar una mezcla bituminosa que será ensayada en condición suelta colocándola en un vaso de vacío calibrado. Para que haya buenos resultados en el ensayo la muestra debe encontrarse disgregada, se debe evitar perder la mayor cantidad de áridos finos para reducir alteraciones en el ensayo. (El ensayo se debe realizar con agua a de  $25^{\circ}\text{C}$ ).

En primer lugar, se toma el peso de la muestra en el vaso de vacío (PA), seguido se llena el envase de agua temperada a  $25^{\circ}\text{C}$  hasta que cubra a la mezcla asfáltica aproximadamente en una pulgada, después se procede a reducir la presión residual en el recipiente de 25 a 30 mm de Hg durante 15 minutos. Una vez culminado el proceso se retira gradualmente el vacío y se lleva el contenedor a llenarlo de agua por completo hasta que el agregado adquiera la

temperatura de 25°C. Se coloca la cubierta del recipiente evitando el ingreso de partículas de aire y se toma el peso (PE).

Por otro lado, se debe considerar que el vaso de vacío tiene que cumplir con los requerimientos de la norma y ser pesado con agua a 25°C (PD).

Para determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica es necesario realizar la siguiente relación:

$$G_{mm} = \frac{PA}{PA + PD - PE}$$

### 3.10.3. Vacíos de aire (Va)

Los vacíos de aire es el porcentaje de la diferencia de una unidad y la relación de la gravedad específica máxima teórica y la densidad bulk, siendo esta la siguiente:

$$V_a (\%) = \left(1 - \frac{D. Bulk}{G_{mm}}\right) \times 100$$

### 3.10.4. Vacíos de agregados (V. agr.)

Vacíos de agregados es la relación porcentual de la cantidad de material pétreo utilizado en la briqueta por la densidad bulk y la gravedad específica bulk del árido

$$V. agr. (\%) = \frac{(100 - \%Asfalto) \times D. Bulk}{G_{sb}}$$

Donde:

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\%Mat. A}{G_{sa A}} + \frac{\%Mat. B}{G_{sa B}} + \frac{\%Mat. C}{G_{sa C}}}$$

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Siendo:

$G_{sb}$  = Gravedad específica bulk del material pétreo

Gsa = Gravedad específica aparente del agregado

A = Peso en el aire del agregado

C = Peso sumergido del agregado

### **3.10.5. Vacíos de agregado mineral (VAM)**

Los vacíos de agregado mineral es la diferencia porcentual de la totalidad y los vacíos de los agregados, expresándose de la siguiente manera:

$$\text{VAM (\%)} = 100 - \text{V. agr (\%)}$$

### **3.10.6. Vacíos llenos con asfalto (VAF)**

Los vacíos llenos con asfalto es la relación porcentual entre la diferencia del valor de agregado mineral con los vacíos de aire y los vacíos de agregado mineral.

$$\text{VAF (\%)} = \left( \frac{\text{VAM} - \text{Va}}{\text{VAM}} \right) \times 100$$

## **3.11. Mezcla original**

### **3.11.1. Obtención del porcentaje teórico de mezcla**

Para la obtención del porcentaje teórico de asfalto se hizo referencia al Asphalt Institute, 2014, que en función de la granulometría del agregado determina la cantidad de asfalto óptima.

Tras hacer un estudio granulométrico del árido se procede a realizar la mezcla de los mismos para preparar los baches de mezcla. En primer lugar, se debe considerar el tamaño máximo nominal del agregado para establecer los límites de material pasante para luego con esto, determinar la cantidad de material adecuada para una buena mezcla.



Los límites que se tienen de acuerdo al tamaño máximo nominal son:

Tabla 3.8-2. Límites de material pasante

Tamaño máximo nominal		Tamiz N°	1 1/2"	3/4"	4	8	50	200
½ in.	12.5 mm	Abertura (mm)	19	12,5	4,75	2,36	0,3	0,075
		Min.	100	90	44	28	5	2
		Max.	100	100	74	58	21	10

Fuente: Asphalt Institute, 2014

Seguido, se realizan una serie de iteraciones de los porcentajes de mezcla posibles que se ajusten a las curvas límites, teniendo como óptimo los siguientes porcentajes:

Tabla 3.8-3. Porcentaje de mezcla de agregados

Porcentajes de Mezcla	
A	30%
B	10%
C	60%

Siendo:

A = agregado grueso número 7

B = agregado grueso número 8

C = agregado fino

Por lo tanto, los porcentajes de mezcla pasante de los agregados quedan establecidos de la siguiente manera:

Tabla 3.8-4. Tabla de porcentajes de agregado mineral

ABERTURA	in.	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	30	50	100	200
	mm	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,6	0,3	0,15	0,075
MÍN. (%)		100	90	-	44	28	-	5	-	2
MEZCLA (%)			96,79	85,88	60,00	43,87	17,66	10,49	5,36	2,68
MÁX. (%)		100	100	-	74	58	-	21	-	10

Una vez determinado los porcentajes de árido que van a ser colocados en los baches para ser ensayados, es necesario determinar la cantidad de asfalto con la que se va a realizar la mezcla.

Para esto se utilizó la siguiente formula referenciada en el Asphalt Institute, 2014:

$$P = 0,035 a + 0,045 b + Kc + F$$

Siendo:

a = Porcentaje de material árido retenido en el tamiz número 8

b = Porcentaje de material que pasa el tamiz 8 y retiene el número 200

c = Porcentaje de material pasante del tamiz número 200

K = Coeficiente de acuerdo al porcentaje de material pasante del tamiz No. 200

F = Coeficiente determinado por la absorción del material granular

Reemplazando:

$$P = 0,035 (56) + 0,045 (41) + 0,20 \times (3) + 1,1$$

$$a = 56$$

$$b = 41$$

$$c = 3$$

$$K = 0,20$$

$$F = 1,1$$

De esta manera, tenemos un porcentaje de asfalto aproximado de 5,5%, por lo que se decide tomar el valor de 6% como porcentaje óptimo teórico.

### **3.11.2. Obtención del porcentaje óptimo de asfalto**

Para la obtención del porcentaje óptimo de asfalto, se realizan quince briquetas, las cuales son separadas en cinco grupos, cada uno de estos con un porcentaje distinto de asfalto. Para esto, es necesario partir del porcentaje óptimo teórico de asfalto obtenido a partir de la granulometría de la mezcla de los agregados, que en nuestro caso fue de 6%.

Al tener un valor referencial medio de porcentaje de asfalto para la mezcla (6%), se eleva y reduce el mismo en un 1%, pero cada 0,5%, es decir que partiendo del 6% y elevando el porcentaje, tendríamos 6,5% y 7%, por otro lado, al reducir el porcentaje, tendríamos 5,5% y 5%, con lo que finalmente los porcentajes recomendados para realizar la mezcla asfáltica serían 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7%.

Finalmente, para la mezcla, se realizan tres briquetas con cada uno de los porcentajes de asfalto obtenidos previamente.

El porcentaje de asfalto se añade de la siguiente forma:

El peso promedio de cada funda de agregados es de 1100 gramos, peso que junto con el asfalto debe completar el 100% del peso de la mezcla asfáltica. Es decir que si la funda de asfalto pesa 1100 gramos, y se desea realizar una mezcla de asfalto al 5%, los 1100 gramos de material pétreo resultarían ser el 95% de la mezcla, mientras que, a través de una simple proporción, se obtiene que la cantidad de asfalto a ser añadida es de 57.9 gramos, misma que representa el 5% restante del peso de la mezcla asfáltica.

Para la realización de la briketa, se debe dejar el agregado 24 horas antes en un horno a temperatura de mezcla, de acuerdo a la carta de plasticidad obtenida, que en nuestro caso es de 152°C a 157°C, por otro lado, el asfalto debe derretirse en el horno, hasta lograr una textura fluida. La temperatura máxima a la que puede ser sometido el asfalto es la misma a la que se coloca el árido.

Para preparar los moldes en los que se va a realizar la compactación de la mezcla, se los calentará hasta la temperatura de compactación (141°C a 146°C) en un horno, para luego, colocar un filtro de papel en la base inferior y finalmente aceitar este último y las paredes del molde.

En cuanto a la mezcla, una vez que se adiciona la cantidad adecuada de asfalto sobre el agregado, se debe mezclar sobre una cocina que mantenga la temperatura adecuada durante todo el procedimiento, con el objetivo que el asfalto siga cubriendo la superficie de todo el agregado.

Cuando todo el agregado está totalmente cubierto de asfalto, se procede a verter aproximadamente la mitad de la mezcla dentro de los moldes previamente calentados, y se dan 15 golpes con una espátula, distribuyendo estos en el borde y centro de la muestra,

finalmente se vierte la mezcla restante dentro del molde y se realiza el mismo proceso de compactación mediante 15 golpes en la superficie.

Para la compactación, el martillo compactador, debe estar caliente, y se deben dar 75 golpes en cada cara de la briqueta, teniendo finalmente 150 golpes sobre la muestra, esto según el requerimiento del (ASPHALT INSTITUTE, 2014), para tráfico pesado.

Una vez que la muestra se ha enfriado luego de ser compactada, debe ser desmoldada, cuidando el no desmoronar los bordes de la briqueta.

Las briquetas desmoldadas deben enfriarse con aire natural, hasta llegar a temperatura ambiente, para ser pesadas en seco, luego pesadas sumergiéndolas en agua y finalmente pesarlas en superficie saturada seca.

Como parte final del ensayo, las briquetas deben sumergirse en agua a 60°C por un tiempo de 30 a 40 minutos, para luego ser ensayadas a compresión en la máquina del ensayo Marshall para determinar la estabilidad y el flujo de la mezcla.

Los resultados de los ensayos realizados sobre las briquetas de mezcla normal, son los siguientes:

Tabla 3.8-5. Resumen datos de mezcla original

<b>RESUMEN DE DATOS</b>						
<b>% Asfalto</b>	<b>Densidad Bulk</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Flujo</b>	<b>Va</b>	<b>VAM</b>	<b>VAF</b>
5	2,201	2083	9	11,40	22,70	49,90
5,5	2,211	1950	9	9,50	22,70	58,10
6	2,229	2267	10	8,20	22,50	63,50
6,5	2,246	2200	11	6,70	22,30	70,10
7	2,261	2050	12	5,40	22,30	75,70

Nota: Los valores presentados en la tabla son los promedios de los ensayos realizados.

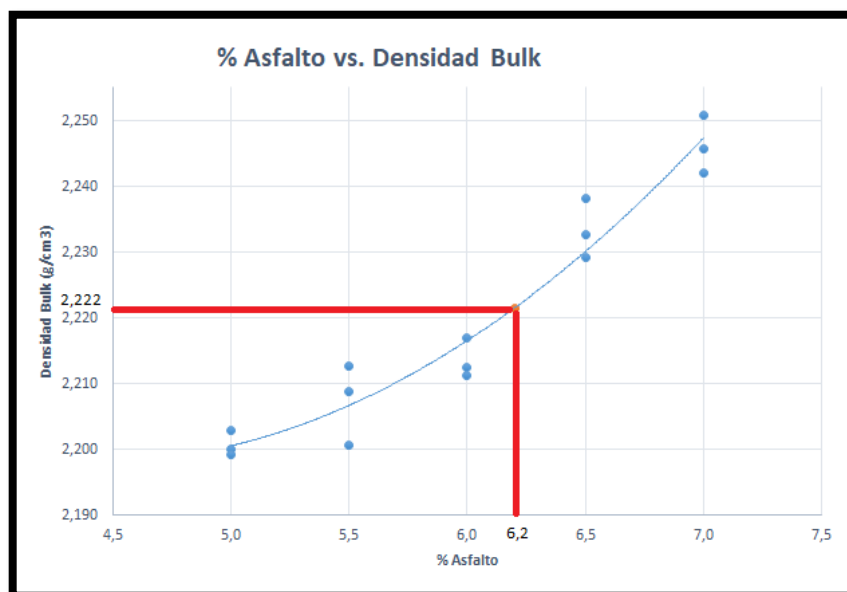
Tras analizar los datos obtenidos se determina que el porcentaje óptimo de asfalto para realizar la mezcla asfáltica es de 6.2%. de esta manera, los valores obtenidos con la cantidad de asfalto en consideración son:

Tabla 3.8-6. Resultados obtenidos con porcentaje óptimo

% Asfalto	6,2
Densidad Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,222
Estabilidad (psi)	2170
Flujo	11
VA (%)	7,5
VAM (%)	22,6
VAF (%)	63,9

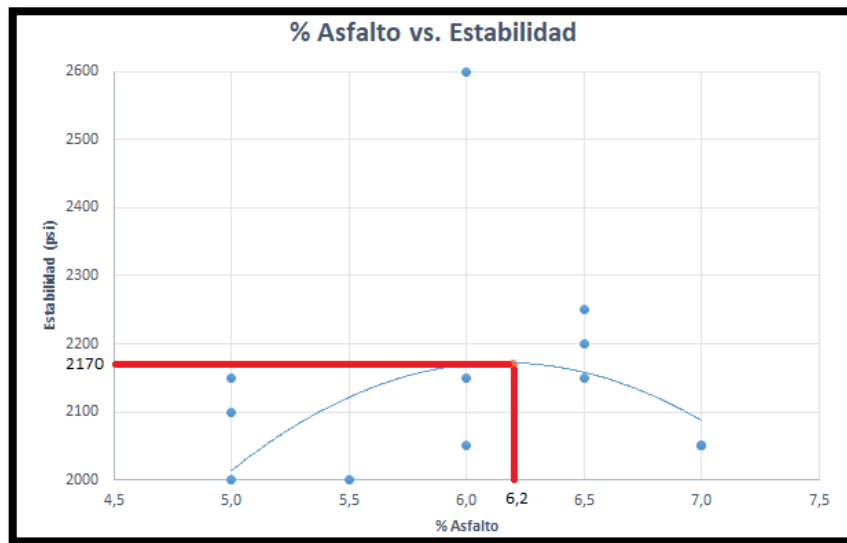
A continuación, se realizará un análisis gráfico de los parámetros considerados para el estudio:

Gráfica No. 3-1 Porcentaje de asfalto vs Densidad bulk



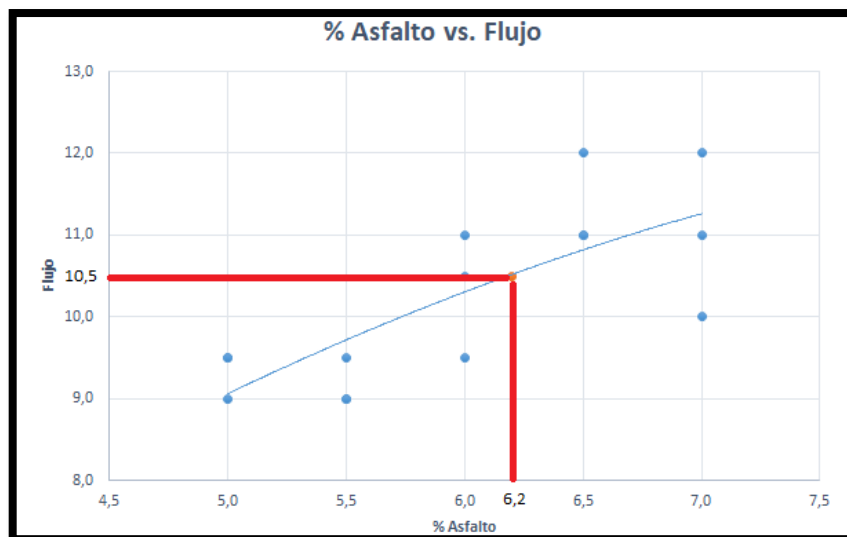
A medida que aumenta el porcentaje de asfalto la densidad bulk en la briqueta aumenta. Para el 6,2% de asfalto se tiene una densidad bulk de 2,222 (gr/cm<sup>3</sup>).

Gráfica No. 3-2. Porcentaje de asfalto vs Estabilidad



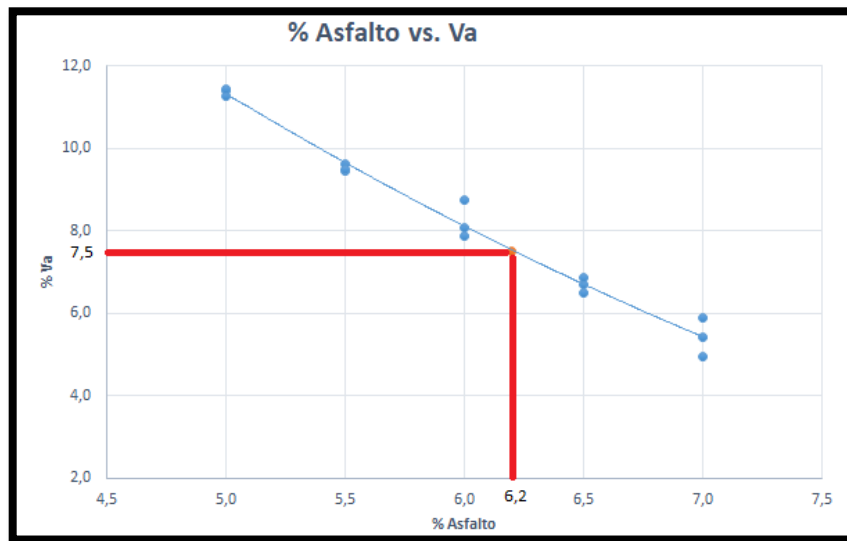
La estabilidad en la mezcla tiende a elevarse a medida que se aumenta la cantidad de asfalto, sin embargo, el exceso del mismo, produce una disminución de la estabilidad. Para el 6,2% de asfalto se tiene una estabilidad de 2170 (lb/in<sup>2</sup>), valor que satisface el mínimo requerido por la MTOP para tráfico pesado de 1800 (lb/in<sup>2</sup>), por otro lado, se puede decir que también satisface el mínimo requerido para tráfico muy pesado al ser ligeramente menor a 2200 (lb/in<sup>2</sup>).

Gráfica No. 3-3. Porcentaje de asfalto vs Flujo



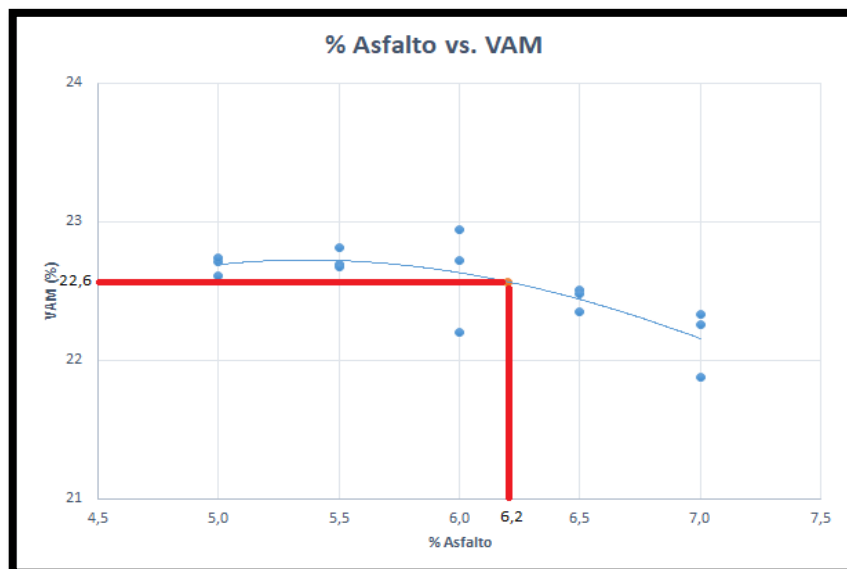
El flujo en la briqueta es directamente proporcional a la cantidad de asfalto que se coloque. Para el 6,2% de asfalto se tiene un flujo de 10,5 equivalente a 11. Encontrándose dentro de los parámetros permitidos siendo estos de 8 a 14.

Gráfica No. 3-4. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de vacíos



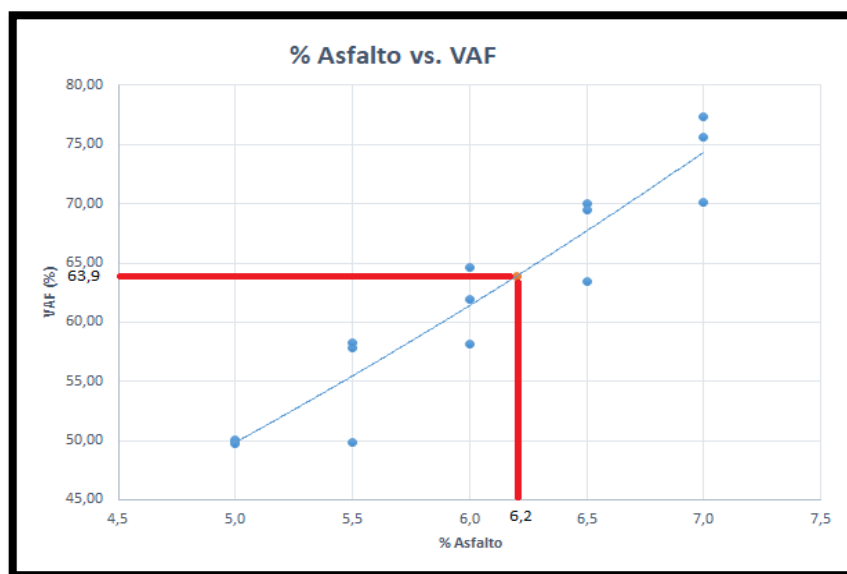
Los vacíos dentro de una mezcla asfáltica son inversamente proporcionales a la cantidad de asfalto que se coloque. Para el 6,2% de asfalto se tiene una porcentaje de vacíos 7,5%. Encontrándose fuera del rango permitido al ser este de 3 a 5%.

Gráfica No. 3-5. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAM



Los vacíos de agregado mineral (VAM) dentro de una briqueta tienden a disminuir a medida que se coloca una mayor cantidad de asfalto. Para el 6,2% de asfalto se tiene un 22,6% de VAM, valor que es mayor al mínimo requerido de 14%.

Gráfica No. 3-6. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAF



Los vacíos llenos con asfalto (VAF) dentro de una briqueta son directamente proporcionales a la cantidad de asfalto. Para el 6,2% de asfalto se tiene un VAF equivalente a 63,9%, valor que se encuentra fuera de los límites permitidos siendo estos de 65 a 75%.

### 3.12. Mezcla modificada con tapas plásticas trituradas

Una vez determinado el porcentaje óptimo de asfalto, es necesario determinar el porcentaje óptimo de tapas de plástico trituradas que deben utilizarse para obtener los mejores resultados al modificar la mezcla.

Como primer paso, es importante obtener las tapas de plástico trituradas, tomar una muestra y someter esta, a un ensayo de granulometría. Con esto, se determina el tamaño de partícula adecuado para realizar la sustitución de agregado mineral por plástico.

En nuestro caso, el tamiz número 8, con un tamaño de partícula retenida de 2.3mm, fue el que más material plástico retuvo (60%), por lo que fue el escogido para realizar la sustitución de material.

Para la sustitución de plástico por agregado, se realizó la misma en porcentajes de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% y 60%, en relación al peso del material que pasa el tamiz 4 y retiene el tamiz



8. Para realizar esta parte del ensayo, al ser una investigación, es necesario realizar 6 briquetas con cada porcentaje de sustitución con plástico, teniendo un total de 36 briquetas.

El tratamiento del agregado fue el mismo que el explicado anteriormente para la mezcla normal, ya que se dejó el material pétreo en un horno a temperatura de mezcla, pero con la excepción que la porción de plástico correspondiente no se incluyó en el horno, ya que este material al ser sometido a altas temperaturas por largos periodos de tiempo tiende a derretirse y quemarse, formando cúmulos de plástico con agregado que afectan al proceso de mezclado y compactado de la briketa.

Para la colocación del asfalto, se sigue el mismo procedimiento que la mezcla original, con la excepción, que ahora todas las briquetas llevan el mismo porcentaje de asfalto.

En cuanto a la mezcla, la porción de plástico debe ser agregada en la parte final del proceso de mezclado, para evitar que por la alta temperatura del procedimiento se quede pegado en los recipientes.

Fotografía 3-1. Proceso de elaboración con plástico



La fabricación de la briketa (colocación de la mezcla en los moldes y su compactación con 15 golpes) es la misma que para la mezcla original, al igual que el proceso de desmolde, pesaje y ensayo en la máquina Marshall para la determinación de la estabilidad y flujo de cada briketa.

Los resultados de los ensayos realizados sobre las briquetas modificadas con las tapas plásticas, son los siguientes:

Tabla 3.8-7. Resumen datos de mezcla modificada

<b>RESUMEN DE DATOS</b>							
<b>% asfalto</b>	<b>% plastico</b>	<b>Bulk</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Flujo</b>	<b>Va</b>	<b>VAM</b>	<b>VAF</b>
6,2	0,0	2,415	2170	11	7,50	22,60	63,90
6,2	10,0	2,200	3354	16	4,40	23,70	81,30
6,2	20,0	2,108	3875	18	6,20	26,90	77,00
6,2	30,0	2,103	5583	20	4,40	27,10	83,90
6,2	40,0	2,062	6567	21	4,20	28,50	85,40
6,2	60,0	1,910	7010	23	7,20	33,80	78,70

Nota: Los valores presentados en la tabla son los promedios de los ensayos realizados.

Tras analizar los datos obtenidos se determina que el porcentaje óptimo de plástico que se debe considerar para la mezcla es del 5%. De esta manera, los valores obtenidos con la cantidad óptima de plástico son de:

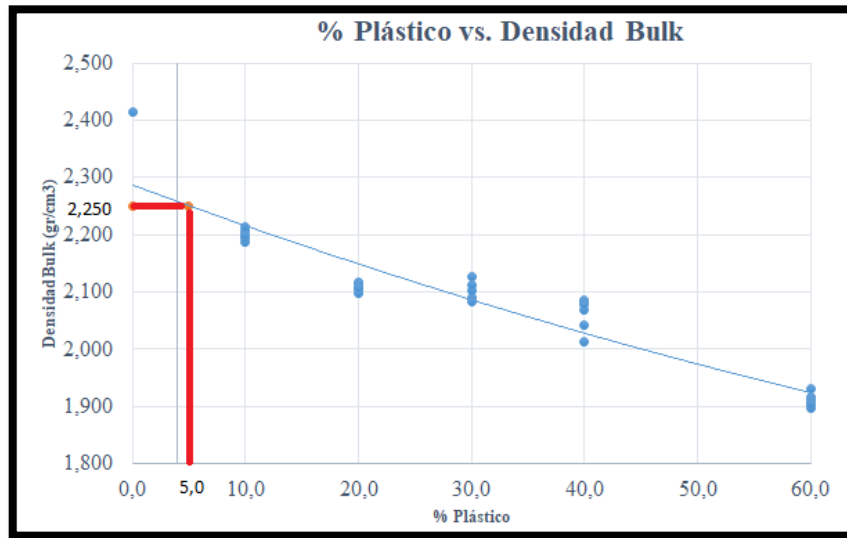
Tabla 3.8-8. Resultados con porcentaje óptimo de plástico

% Asfalto	6,2
% Polímero	5
Densidad Bulk (gr/cm3)	2,250
Estabilidad (psi)	2650
Flujo	14,2
VA (%)	5,9
VAM (%)	23,5
VAF (%)	74,2

Hay que considerar que los valores obtenidos vienen relacionados directamente de las gráficas que se generaron a partir de los datos obtenidos en los ensayos anteriores.

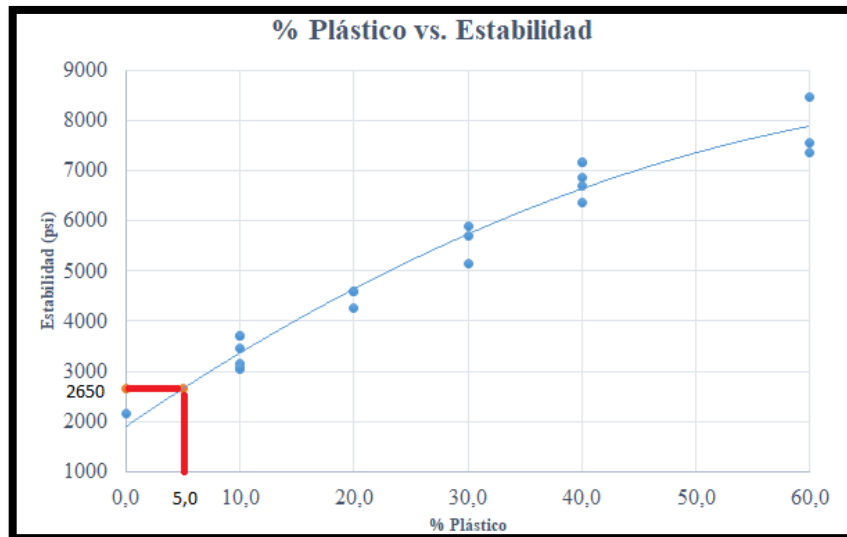
A continuación, se realizará un análisis gráfico de los parámetros considerados para el estudio:

Gráfica No. 3-7. Porcentaje de asfalto vs Densidad bulk (modificada con plástico)



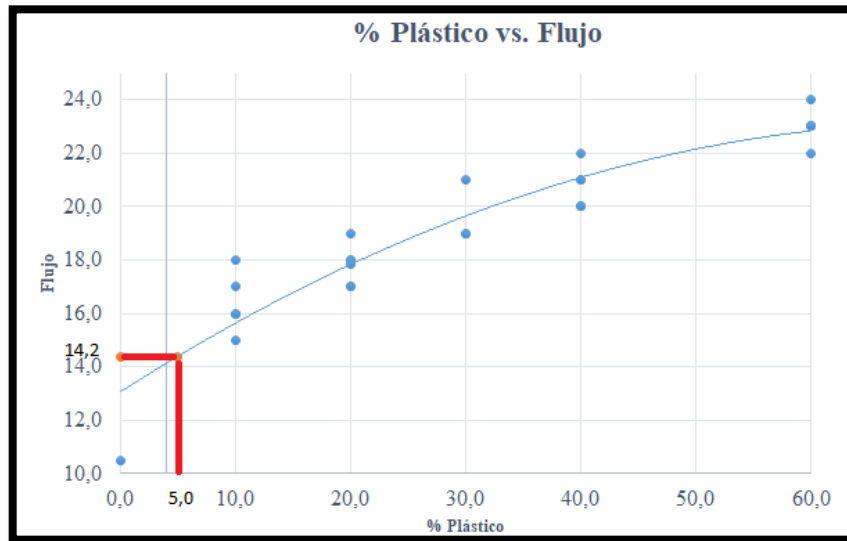
A medida que aumenta el porcentaje de asfalto la densidad bulk en la briqueta disminuye. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene una densidad bulk de 2,250 (gr/cm³).

Gráfica No. 3-8. Porcentaje de asfalto vs Estabilidad (modificada con plástico)



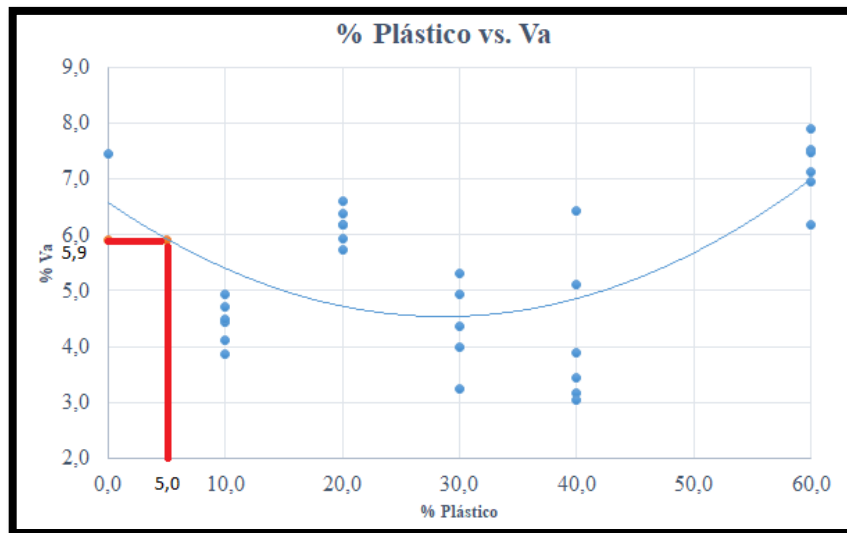
La estabilidad en la mezcla tiende a aumentar considerablemente a medida que se aumenta la cantidad de plástico alcanzando valores muy elevados. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene una estabilidad de 2650 (lb/in²), que es mayor al requerido por la MTOP para tráfico muy pesado de 2200 (lb/in²).

Gráfica No. 3-9. Porcentaje de asfalto vs Flujo (modificada con plástico)



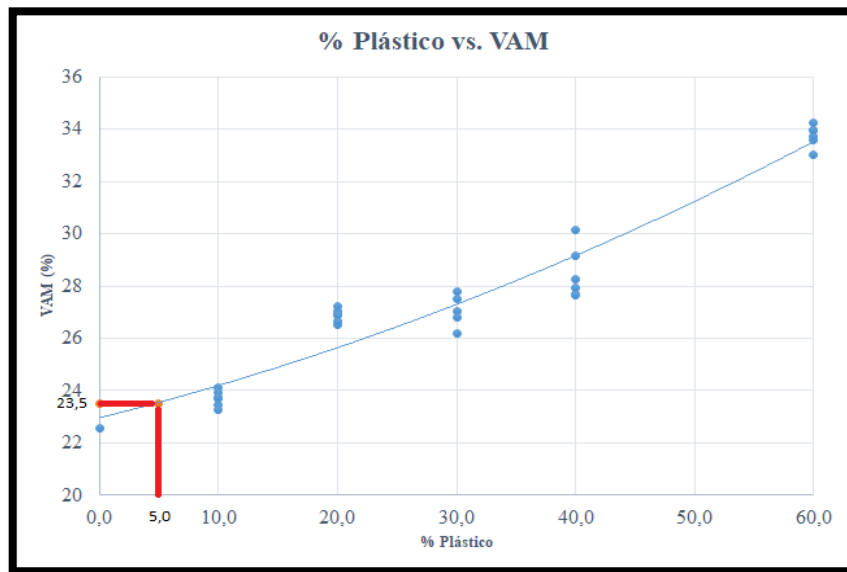
El flujo en la briqueta es directamente proporcional a la cantidad de asfalto que se coloque. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un flujo de 14,3 equivalente a 14. Encontrándose dentro de los parámetros permitidos siendo estos de 8 a 14.

Gráfica No. 3-10. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de vacíos (modificada con plástico)



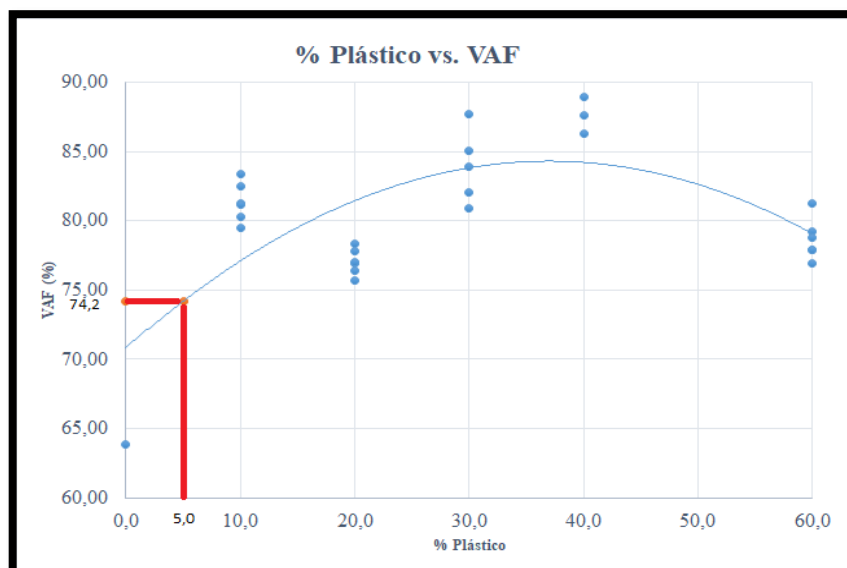
Los vacíos dentro de una mezcla asfáltica modificada con plástico tiende a disminuir en primera instancia sin embargo, los vacíos se recuperan cuando se coloca una gran cantidad de polipropileno. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un 5,9% de vacíos, encontrándose fuera del rango permitido al ser este de 3 a 5%.

Gráfica No. 3-11. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAM (modificada con plástico)



Los vacíos de agregado mineral (VAM) dentro de una briqueta modificada con plástico es directamente proporcional a la cantidad de polipropileno que se coloque. Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un 23,5% de VAM, valor que es mayor al mínimo requerido de 14%.

Gráfica No. 3-12. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de VAF (modificada con plástico)



Los vacíos llenos con asfalto (VAF) dentro de una briqueta aumentan aproximadamente hasta el 35% con el material plástico colocado, pasado dicho porcentaje vuelve a disminuir.

Para la mezcla asfáltica con el 5% de plástico se tiene un VAF equivalente a 74,2%, valor que se encuentra dentro de los límites permitidos siendo estos de 65 a 75%.

### 3.13. Verificación de datos con porcentaje óptimo del polímero

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron es claro que el porcentaje óptimo del polímero es del 5%, sin embargo, para asegurar y garantizar el trabajo se hizo la verificación de manera experimental, logrando los siguientes resultados:

Tabla 3.8-9. Resultados con porcentaje óptimo de plástico (verificación)

% Asfalto	6,2
% Polímero	5
Densidad Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,231
Estabilidad (psi)	2588
Flujo	14
VA (%)	4,5
VAM (%)	22,6
VAF (%)	83

### 3.14. Módulo de Rigidez

En la determinación de los módulos de rigidez se realizaron briquetas con los porcentajes óptimos tanto de la cantidad de asfalto original como de la cantidad óptima de plástico (5%).

Tabla 3.14-10. Módulo de Rigidez

Muestra	% Asfalto	% Plástico	Deformación lateral (um)	Módulo de Rigidez (MPa)
1	6,2	0	5,25	1466
2	6,2	5	4,71	1777

Hay una varianza en los valores considerable tanto en la deformación lateral como en el módulo de la rigidez en aquellas muestras en las que se añadió el polímero, mejorando sus características iniciales.

## CAPITULO IV

### 4. COSTOS

#### 4.1. Mezcla original

##### 4.1.1. Materiales

Volumen promedio de una briqueta: 523cm<sup>3</sup>

MATERIALES	MASA (gr)
Agregado	1100
Asfalto	72.7

AGREGADO	PORCENTAJE	MASA (gr)
Grande	30	330
Medio	10	110
Arena	60	660

##### 4.1.2. Volúmenes necesarios para realizar un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica original

MATERIALES	MASA (kg)
Agregado	2103.3
Asfalto	139

AGREGADO	PORCENTAJE	MASA (gr)
Grande	30	631
Medio	10	210.3
Arena	60	1262



#### 4.1.3. Evaluación económica de una mezcla original

Tabla 4-1. Evaluación económica de materiales (mezcla original)

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MATERIALES			
MATERIALES	CANTIDAD (kg)	P.U (\$/kg)	P. TOTAL (\$)
Agregado grueso	631	0.0089	5.62
Agregado mediano	210.3	0.0089	1.87
Arena	1262	0.0079	9.97
Asfalto	139	0.33	45.87
TOTAL			<b>63.33</b>

Asumiendo que se realizará una carretera de 7 m de ancho, con una capa de pavimento flexible de 15 cm, se puede decir que el costo por metro lineal de carretera es de \$63.33

## 4.2. Mezcla modificada con el 5% de plástico

### 4.2.1. Materiales

Volumen de una briqueta: 523 cm<sup>3</sup>

MATERIALES	MASA (gr)
Agregado	1100
Asfalto	72.7
Plástico	8.9

AGREGADO	PORCENTAJE	MASA (gr)
Grande	30	330
Medio	10	110
Arena	60	660

4.2.2. *Volúmenes necesarios para realizar un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica modificada con 5% de plástico*

MATERIALES	MASA (kg)
Agregado	2103.3
Asfalto	139
Plástico	17

AGREGADO	PORCENTAJE	MASA (gr)
Grande	30	631
Medio	10	210.3
Arena	60	1262

3.1.1. *Evaluación económica de una mezcla modificada con 5% de plástico*

Tabla 4-2.Evaluación económica de materiales (mezcla modificada)

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MATERIALES			
MATERIALES	CANTIDAD (kg)	P.U (\$/kg)	P. TOTAL (\$)
Agregado grueso	631	0.0089	5.62
Agregado mediano	210.3	0.0089	1.87
Arena	1262	0.0079	9.97
Asfalto	139	0.33	45.87
Plástico	17	0.45	7.65
TOTAL			<b>70.98</b>

Asumiendo que se realizará una carretera de 7 m de ancho, con una capa de pavimento flexible de 15 cm, se puede decir que el costo por metro lineal de carretera es de \$70.98

## **CAPITULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- Realizando una comparación de los resultados obtenidos en los distintos ensayos sobre la mezcla normal y la modificada, se puede decir que, al agregar el plástico a la mezcla, esta mejora en cuanto a estabilidad y VA, mientras que el valor del flujo se mantiene.
- Después de haber realizado sobre el agregado pétreo los ensayos de gravedad específica, resistencia a la degradación con la máquina de los ángeles, resistencia a los sulfatos y equivalente de arena, se puede decir que los mismos (agregados) cumplieron exitosamente con los requerimientos de las normas ASTM e INEN.
- Según la caracterización perteneciente a la Tabla 7 de la Norma NTE INEN 2515, el asfalto utilizado en esta investigación es de tipo AC-20.
- La cantidad óptima de asfalto resultante para esta investigación, fue del 6.2%, la misma que se obtuvo después de haber realizado ensayos sobre briquetas que llevaban 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% de asfalto.
- La mezcla normal con un porcentaje de asfalto de 6,2 %, obtuvo una estabilidad promedio de 2170 psi, valor que es aceptable comparado con el mínimo que sugiere la MTOP de 2200 psi; y un flujo promedio de 11, que se encuentra dentro del rango que sugiere el MTOP de 8 a 14.
- La mezcla normal con un porcentaje de asfalto de 6,2 %, presenta valores de VA=7.5%, VAM=22.6% y VAF=64%, con lo que se puede concluir que el VAM (mínimo 14%), cumple de manera satisfactoria, mientras que el VAF tiene una diferencia mínima aceptable y el VA excede en un 2.5% al máximo permitido. Esto según el Asphalt Institute 2014.
- La mezcla modificada con un porcentaje de asfalto de 6,2 %, y un porcentaje de plástico del 5% en reemplazo del material retenido en el tamiz 8, obtuvo una estabilidad promedio de 2588 psi y un flujo promedio de 14, valores que al ser mayores a los que nos propone el MTOP (Estabilidad: mínimo 2200 psi; Flujo: 8-14), demuestran que estos parámetros en la mezcla resultan satisfactorios.

- La mezcla modificada con un porcentaje de asfalto de 6,2 % y de plástico del 5%, presenta valores de VA=4.50%, VAM=22.6% y VAF=80%, con lo que se puede concluir que el VA (3%-5%) y el VAM (mínimo 14%), cumplen de manera satisfactoria, mientras que el VAF excede en 5% el máximo permitido. Esto según el Asphalt Institute 2014.
- El valor de la estabilidad en la mezcla modificada con plástico al 5 %, aumenta aproximadamente 500 psi con respecto a la mezcla normal, lo que conlleva a tener una mezcla más rígida, capaz de soportar una mayor fuerza de impacto. Vale aclarar, que el poseer valores excesivos de estabilidad no es bueno, ya que producen que la mezcla se torne demasiado rígida, comprometiendo la durabilidad del pavimento.
- El valor del flujo en la mezcla modificada con plástico al 5 %, al igual que el valor del flujo de la mezcla normal, se mantienen dentro del rango recomendado de 8 a 14, lo que significa, que la mezcla obtenida no es excesivamente rígida, como para no soportar deformaciones básicas, ni tampoco es muy elástica, como para presentar deformaciones excesivas.
- El porcentaje de vacíos (VA) en la mezcla modificada con plástico al 5 %, es de 4.5%, mientras que el porcentaje de vacíos (VA) de la mezcla normal es de 7.5%. Con lo expuesto, se puede verificar una reducción de VA de 3%, valor que permite reducir las deformaciones del pavimento, cuando el mismo se encuentre sometido a fuerzas provenientes de la carga vehicular. Es importante mantener el VA en un rango del 3% al 5%, ya que esto permite que al elevarse la temperatura del ambiente el asfalto pueda llenar los vacíos y no se provoque una exudación hacia el exterior, y por otro lado evitar deformaciones excesivas ante la aplicación de cargas.
- El módulo de rigidez de la mezcla original, es de 1466 MPa, valor que no cumple con el mínimo sugerido por el MTOP de 2000 MPa.
- El módulo de rigidez de la mezcla modificada con el 5% de plástico, es de 1777 MPa, valor que no cumple con el mínimo sugerido por el MTOP de 2000 MPa
- El valor de deformación lateral de la mezcla normal es de 5.25 um, mientras que la deformación de la mezcla modificada con el 5% de plástico es de 4.7 um.
- El valor del módulo de rigidez de la mezcla modificada es mayor al de la mezcla normal, lo que conlleva a tener menores deformaciones.
- Realizando una comparación entre el costo de una mezcla asfáltica en caliente normal y una modificada con el 5% de tapas plásticas, se puede decir que el

pavimento modificado es \$7.65 más costoso por m<sup>3</sup> que el normal, esto debido a la adición del plástico en la mezcla.

## **5.2. Recomendaciones**

- Debido a que en esta investigación se está realizando la modificación de una mezcla asfáltica a altas temperaturas, se recomienda incorporar el plástico en la etapa final de mezclado, esto para evitar que el plástico se empiece a derretir y formar grumos con el agregado antes de que el asfalto haya cubierto totalmente todas las partículas de material pétreo.
- Se recomienda hacer briquetas con porcentajes de plástico pequeños, hasta un 20% ya que, con porcentajes de plástico más altos se dificultan la realización de la mezcla y su proceso de moldeo.
- Cuando se realice el ensayo de gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, es conveniente enfriar la mezcla desde un inicio, ya que, si se la deja reposar por un periodo prolongado de tiempo, la disgregación de la misma será muy complicada.
- Se recomienda la realización de los ensayos de módulo dinámico y de prueba de desempeño para complementar el estudio realizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM INTERNATIONAL. (2003). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles*. West Conshohocken.
- AENOR. (2012, NOVIEMBRE). NORMA ESPAÑOLA. *MÉTODOS DE ENSAYOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE*. MADRID, ESPAÑA.
- ASHPHALT INSTITUTE. (1977). *MIX DESIGN METHODS*. Lexington, KY, USA.
- ASPHALT INSTITUTE. (2014). *ASPHALT MIX DESIGN METHODS*. Lexington.
- BILLMEYER, F. (2004). *CIENCIA DE LOS POLÍMEROS*. España: REVERTÉ S.A.
- Córdoba, M. M. (2010). APROVECHAMIENTO DE POLIPROPILENO Y POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADOS, REFORZADOS CON FIBRA VEGETA, TETERA (Stromanthe Stromathoides). *Revista Iberoamericana de Polímeros*.
- España, S. (2017, 05 15). Residuos un recurso aprovechable para las industrias. *Expreso*. Retrieved 10 23, 2017, from <http://www.expreso.ec/vivir/residuos-un-recurso-aprovechable-para-las-industrias-MB1322916>
- HOLCIM. (n.d.). *HOLCIM*. Retrieved septiembre 25, 2017, from <http://www.solucionesholcim.com/es/solucionesagregados.html>
- HUGO ERNEY, A. D. (2010). DIAGNÓSTICO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EMPLEADAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS EN CALIENTE MDC-2. BOGOTÁ D.C, COLOMBIA. Retrieved 10 16, 2017, from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3654/2/CamargoChavezHugoErney2010.pdf>
- I.N.V.E. (2007). ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS. *I.N.V. E – 213 – 07*.
- INEC. (2016). *Información Ambiental en Hogares*. Retrieved 10 2017, 23, from [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Hogares/Hogares\\_2016/Documento%20tecnico.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2016/Documento%20tecnico.pdf)
- INEN. (2014, 05 20). NTE INEN 2515. *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- LOEMCO,FdA,AENOR. (2000). *EQUIVALENTE DE ARENA*. -, España: -. Retrieved Septiembre 26, 2017
- MONTEJO FONSECA, A. (2002). *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

- Morales Cáceres. (2007). *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México*. Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Puebla. Retrieved Noviembre 14, 2017
- PETROQUIM. (n.d.). *QUÉ ES EL POLIPROPILENO*. Santiago de Chile, Chile. Retrieved 12 18, 2016, from <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>
- RODRIGUEZ, A. P. (2004). *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Retrieved from *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>
- RONDON QUINTANA, H. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. BOGOTA: Ecoe Ediciones.
- UIEM. (2014). Coyuntura Económica. *Ekosnegocios.com*.
- Villar, E. G. (2006). *EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA*. ESPAÑA.

## Anexo No. 1. Informe de gravedad específica del agregado grueso No. 7

### AREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado No. 7	LABORATORIO:	PUCE

### GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO

ASTM C-127

Peso en el Aire ( A )	6350	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )	6490	gr
Peso en el Agua ( C )	3957	gr

Gravedad Específica Bulk	<b>2,507</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	<b>2,562</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	<b>2,654</b>	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	<b>2,20</b>
----------------	-------------

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE



## Anexo No. 2. Informe de gravedad específica del agregado grueso No. 8

AREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado No. 8	LABORATORIO:	PUCE

### GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO

ASTM C-127

Peso en el Aire ( A )	6290	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )	6440	gr
Peso en el Agua ( C )	3945	gr

Gravedad Específica Bulk	2,521	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	2,581	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	2,682	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	2,38
----------------	------

**OBSERVACIONES:** COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:	FISCALIZADO POR:	APROBADO POR:
----------------	------------------	---------------

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

### Anexo No. 3. Informe de ensayo de abrasión agregado grueso No. 7

#### AREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado No. 7	LABORATORIO:	PUCE

#### ENSAYO DE ABRASION ASTM C-131

##### RESULTADOS:

Agregado (No.)	7
Tamano máximo nominal (in)	1/2
Grado de Ensayo	C
Masa Inicial (gr)	5180
Masa retenida en tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (gr)	3806
Perdida a las 500 revoluciones (gr)	1374
% pérdida a 500 revoluciones	27
% máximo de perdidas	50
<b>CRITERIO</b>	<b>CUMPLE</b>

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

## Anexo No. 4. Informe de ensayo de abrasión de agregado grueso No. 8

### AREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado No. 8	LABORATORIO:	PUCE

### ENSAYO DE ABRASION ASTM C-131

#### RESULTADOS:

Agregado (No.)	8
Tamano máximo nominal (in)	3/8
Grado de Ensayo	C
Masa Inicial (gr)	5425
Masa retenida en tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (gr)	4024
Perdida a las 500 revoluciones (gr)	1401
% pérdida a 500 revoluciones	26
% máximo de pérdidas	50
<b>CRITERIO</b>	<b>CUMPLE</b>

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

## Anexo No. 5. Informe de gravedad específica del agregado fino

### AREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado Fino	LABORATORIO:	PUCE

### GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO

ASTM C-128

Peso en el Aire ( A ) =	488,40	gr
Peso Pic + agua ( E ) =	649,50	gr
Peso Sat. Sup. Seca ( B )=	500,00	gr
Peso Pic. + agua + muestra ( D ) =	958,60	gr

Gravedad Específica Bulk	<b>2,558</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica SSS	<b>2,619</b>	gr/cm <sup>3</sup>
Gravedad Específica AP	<b>2,724</b>	gr/cm <sup>3</sup>

% de Absorción	<b>2,38</b>
----------------	-------------

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

## Anexo No. 6. Informe de ensayo desgaste a los sulfatos

AREA DE PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
TIPO DE SOLUCION	Sulfato de magnesio	LABORATORIO:	PUCE
MUESTRA:	Agregado grueso No. 7 y agregado fino		

### ENSAYO DESGASTE A LOS SULFATOS

NTE INEN D 1411

Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa retenida en los tamices, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado, luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Ensayo de desempeño del árido fino					
Menor a 75 µm	4,50				
de 150 µm a 75 µm	4,40				
de 300 µm a 150 µm	8,60				
de 600 µm a 300 µm	13,80	100,00	92,90	7,10	0,61
de 1,18 mm a 600 µm	16,40	100,40	87,40	12,95	1,79
de 2,36 mm a 1,18 mm	25,40	100,30	82,80	17,45	2,86
de 4,75 mm a 2,36 mm	26,90	100,10	89,40	10,69	2,72
de 9,5 mm a 4,75 mm	-				
Totales	100	-	-	-	<b>7,97</b>
Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa retenida en los tamices, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado, luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Ensayo de desempeño del árido grueso No. 7					
63 mm a 50 mm	2825 g	63 mm a 37,5 mm			
50 mm a 37,5 mm	1958 g	37,5 mm a 25,0 mm			
37,5 mm a 25,0 mm	1012 g	25,0 mm a 19,0 mm			
25,0 mm a 19,0 mm	513 g	19,0 mm a 12,5 mm	12,60	672	667
19,0 mm a 12,5 mm	675 g	12,5 mm a 9,5 mm	37,00	328	326
12,5 mm a 9,5 mm	333 g	9,5 mm a 4,75 mm	50,40	305	300
9,5 mm a 4,75 mm	298 g				
Totales	100	-	-	-	<b>1,15</b>

LAS PERDIDAS DEBEN SER MENORES AL 12%

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA

SAMUEL CHAVEZ

LABORATORISTA

DIRECTOR LABORATORIO

PUCE

PUCE

PUCE

PUCE

AREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
TIPO DE SOLUCION	Sulfato de magnesio	LABORATORIO:	PUCE
MUESTRA:	Agregado grueso No. 8		

**ENSAYO DESGASTE A LOS SULFATOS**

NTE INEN D 1411

Tamaño de las aberturas del tamiz			Gradacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa retenida en los tamices, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado, luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Ensayo de desempeño del árido grueso							
63 mm a 50 mm	2825 g	63 mm a 37,5 mm					
50 mm a 37,5 mm	1958 g						
37,5 mm a 25,0 mm	1012 g	37,5 mm a 19,0 mm					
25,0 mm a 19,0 mm	513 g						
19,0 mm a 12,5 mm	675 g	19,0 mm a 9,5 mm	0,30				
12,5 mm a 9,5 mm	333 g		11,10	328	326	0,61	0,07
9,5 mm a 4,75 mm	298 g		88,60	299	293	2,01	1,78
Totales			100	-	-	-	<b>1,85</b>

LAS PERDIDAS DEBEN SER MENORES AL 12%

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:	FISCALIZADO POR:	APROBADO POR:
----------------	------------------	---------------

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

## Anexo No. 7. Informe ensayo de equivalente de arena

# AREA DE PAVIMENTOS

## INFORME DE ENSAYO

PROYECTO:	Tesis	REALIZADO POR:	Shane Aulestia
LOCALIZACION:	Quito		Samuel Chávez
FECHA:	17/10/2017	YACIMIENTO:	Holcim Pifo
MUESTRA:	Agregado Fino	LABORATORIO:	PUCE

# ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

## ASTM D-2419

No. probeta	Lectura de arcilla (in.)	Lectura de arena (in.)	Equivalente de arena (%)
1	4,6	3,4	73,91
2	4,6	3,3	71,74
PROMEDIO			73

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO NORMAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

ELABORADO POR:

FISCALIZADO POR:

APROBADO POR:

SHANE AULESTIA  
PUCE

SAMUEL CHAVEZ  
PUCE

LABORATORISTA  
PUCE

DIRECTOR LABORATORIO  
PUCE

## Anexo No. 8. Informe ensayo densidad de materiales bituminosos

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

#### DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PIGNÓMETRO)

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: QUITO  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70 - 09  
PROCEDIMIENTO: —  
RECEPCIÓN N°: —  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
FISCALIZACIÓN: —  
CONTRATISTA: —  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	1
Temperatura de ensayo (°C)	25,0

#### Registros para densidad:

Serie del picnómetro	S/N
(A) Masa del picnómetro (más tapa)	32,782
(B) Masa del picnómetro lleno de agua	61,992
(C) Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	55,029
(D) Masa del picnómetro más asfalto y más agua	62,253
Densidad relativa de la muestra	1,012
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> )	997,0
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	1008,836

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación



## Anexo No. 9. Informe ensayo horno de película delgada rodante

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO HORNO DE PELÍCULA DELGADA RODANTE

PROYECTO: TESIS SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
LOCALIZACIÓN: QUITO FISCALIZACIÓN: —  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D2872 - 12<sup>1</sup> CONTRATISTA: —  
PROCEDIMIENTO: LMC-MPT-5.4-AP-3 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
RECEPCIÓN N°: — FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
------------------------------	------

#### Determinación del cambio de masa:

Botella	1	2
Masa de botella + asfalto antes (g)	203,529	203,880
Masa de botella + asfalto después (g)	203,467	203,823
Cambio de masa (%)	-0,030	-0,028
Cambio de masa promedio (%)	-0,029	

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	máximo	1,000	%
--	--------	-------	---

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

#### OBSERVACIONES:

COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabien Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 10. Informe ensayo ductilidad de materiales bituminosos

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: QUITO  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D113 - 07  
PROCEDIMIENTO: LMC-MPT-5.4-AP-2  
RECEPCIÓN N°: —  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
FISCALIZACIÓN: —  
CONTRATISTA: —  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	1
Temperatura de ensayo (°C)	25,0
¿Se usa aditivo para densidad del agua?	NO
Número de réplicas	3

#### Valores de ductilidad en la muestra:

Molde	1	2	3	Promedio
Ductilidad (cm)	51	50	52	51
¿Ensayo normal?	SI	SI	SI	

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	50
--	--------	----

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

#### OBSERVACIONES:

COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 11. Informe ensayo de penetración de materiales bituminosos

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS

PROYECTO: TESIS SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
LOCALIZACIÓN: QUITO FISCALIZACIÓN: —  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D5/D5 M-13 CONTRATISTA: —  
PROCEDIMIENTO: LMC-MPT-5.4-AP-2 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
RECEPCIÓN N°: — FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Temperatura de ensayo (°C)	25,0
Carga (g)	100
Tiempo de carga (s)	5

#### Valores de penetración en la muestra:

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0.1 mm)	74	73	74	74

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

---

Carlos Mallama Figueroa  
Responsable de Ensayos

---

Ing. Fabien Alvear  
Responsable de Área

---

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 12. Informe ensayo índice de penetración

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO ÍNDICE DE PENETRACIÓN

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: QUITO  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D3381/D3381M - 12  
PROCEDIMIENTO: —  
RECEPCIÓN N°: —  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/SAMUEL CHAVEZ  
FISCALIZACIÓN: —  
CONTRATISTA: —  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2016-02-11  
FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Penetración a 25°C, 100g, 5s	74
Punto de ablandamiento, °C	45,85
Índice de penetración	-1,4

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	Mínimo	-1,5	Máximo	1,0
--	--------	------	--------	-----

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

#### OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabien Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 13. Informe ensayo punto de ablandamiento de bitumen

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

#### PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE BITUMEN (APARATO DE ANILLO Y BOLA)

PROYECTO: TESIS SOLICITA: SHANE AULESTIA/SAMUEL CHAVEZ  
LOCALIZACIÓN: QUITO FISCALIZACIÓN: —  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D36/D36M - 12 CONTRATISTA: —  
PROCEDIMIENTO: FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
RECEPCIÓN N°: — FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Líquido usado en el baño	agua

Registros de la muestra:	Anillo 1	Anillo 2	Promedio
Punto de ablandamiento, °C	45,70	46,00	45,85

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabien Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 14. Informe ensayo punto de chispa y llama (copa abierta Cleveland)

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE PUNTO DE CHISPA Y LLAMA DE MATERIALES BITUMINOSOS CON EL EQUIPO DE COPA ABIERTA CLEVELAND

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: QUITO  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D92 - 12b  
PROCEDIMIENTO: LMC-MPT-5.4-AP-4  
RECEPCIÓN N°: —  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
FISCALIZACIÓN: —  
CONTRATISTA: —  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Punto de Chispa (°C)	292
Punto de Llama (°C)	315
Presión barométrica (mm Hg)	548,4
Punto de Chispa corregido (°C)	299
Punto de Llama corregido (°C)	322

#### Especificación del producto para punto de chispa:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	232
--	--------	-----

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

#### OBSERVACIONES:

COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueras  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 15. Informe ensayo de viscosidad de asfaltos (Viscosímetro No.100)

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS POR VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO**

PROYECTO:	TESIS	SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ
LOCALIZACIÓN:	QUITO	FISCALIZACIÓN: —
NORMA DE REFERENCIA:	ASTM D2171/D2171M - 10	CONTRATISTA: —
PROCEDIMIENTO:	LMC-MPT-5.4-AP-6	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21
RECEPCIÓN N°	—	FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18
HOJA:	1 de 1	
MUESTRA:	Tomada por el cliente	

### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Temperatura de ensayo (°C)	60,00
Numero del viscosímetro	100
Serie del viscosímetro	L807

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	3,180	1,601	1,066	0,7929	0,6261
Tiempo de flujo (s):	64,3	—	—	—	—
Viscosidad (Pa.s):	204,442				

### Resultado del ensayo:

Viscosidad (Pa.s)	204,442
-------------------	---------

### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	160	Pa.s
	máximo	240	Pa.s

### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

### Información de la muestra:

Numero de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

### OBSERVACIONES:

COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

<hr/> Carlos Mellama Figueroa Responsable de Ensayos	<hr/> Ing. Fabian Alvear Responsable de Área	<hr/> Ing. Jorge Bucheli Director LMC
---	---	--

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 16. Informe ensayo de viscosidad de asfaltos (Viscosímetro No.200)

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

#### DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS POR VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO

PROYECTO: TESIS  
 LOCALIZACIÓN: QUITO  
 NORMA DE REFERENCIA: ASTM D2171/D2171M - 10  
 PROCEDIMIENTO: LMC-MPT-5.4-AP-6  
 RECEPCIÓN N°: —  
 HOJA: 1 de 1  
 MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
 FISCALIZACIÓN: —  
 CONTRATISTA: —  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
 FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Temperatura de ensayo (°C)	60,00
Número del viscosímetro	200
Serie del viscosímetro	K628

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	10,82	5,792	3,993	3,055	2,446
Tiempo de flujo (s):	73,2	—	—	—	—
Viscosidad (Pa.s):	792,024	—	—	—	—

#### Resultado del ensayo:

Viscosidad (Pa.s)	792,024
-------------------	---------

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	máximo	800	Pa.s
--	--------	-----	------

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
 Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvear  
 Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
 Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación



## Anexo No. 17. Informe ensayo viscosidad cinemática de asfaltos

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

#### CÁLCULO DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (BITÚMENES)

PROYECTO: TESIS SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
LOCALIZACIÓN: QUITO FISCALIZACIÓN: —  
NORMA DE REFERENCIA: CONTRATISTA: —  
PROCEDIMIENTO: FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
RECEPCIÓN N°: — FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

#### Registros de la muestra:

Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402/D4402M) (cP)	359,0
Densidad relativa de la muestra a 25/25 °C	1,012
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	379,811

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2014, Tabla 7, Grado AC-20	mínimo	300	mm <sup>2</sup> /s
--	--------	-----	--------------------

#### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

#### OBSERVACIONES:

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellema Figueras  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvear  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 18. Informe viscosidad de asfalto con viscosímetro rotatorio

### ÁREA DE PAVIMENTOS INFORME DE ENSAYO

#### VISCOSIDAD DEL ASFALTO A ELEVADAS TEMPERATURAS USANDO UN VISCOSÍMETRO ROTATORIO

PROYECTO: TESIS  
LOCALIZACIÓN: QUITO  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D4402/D4402M - 12  
PROCEDIMIENTO:  
RECEPCIÓN N°:  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: SHANE AULESTIA/ SAMUEL CHAVEZ  
FISCALIZACIÓN: —  
CONTRATISTA: —  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2017-03-21  
FECHA DE EMISIÓN: 2017-12-18

#### Información general del ensayo:

Identificación de la muestra	3909
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

#### Configuración del ensayo:

Viscosímetro	Brookfield DV-II + Pro
Geometría de ensayo	SC4-21, colgante
Velocidad de rotación (rpm)	100

Resultados del ensayo:	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Viscosidad (Pa.s)	0,359	0,359	0,359	0,359
Torque (%)	71,8	71,8	71,8	71,8

#### Información de la muestra:

Número de muestra	1
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** COMPARACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE UN ASFALTO ORIGINAL Y UN ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS (TAPAS PLASTICAS)

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellama Figueroa  
Responsable de Ensayos

Ing. Fabian Alvarez  
Responsable de Área

Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

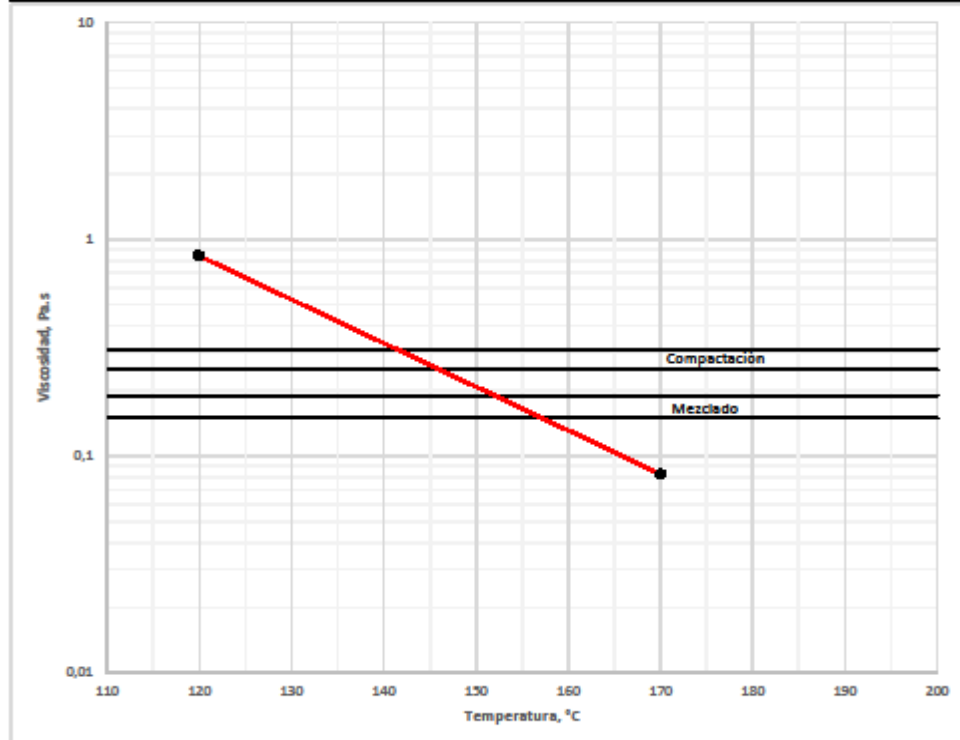
Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

## Anexo No. 19. Informe carta de viscosidad

### ÁREA DE PAVIMENTOS

#### CARTA NORMALIZADA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA PARA ASFALTOS

NORMA: ASTM D 2493/D2493M - 09	ORDEN: 3909	HOJA: 1 de 1
CLIENTE: PUCE	SOLICITA: SHANE AULESTIA/SAMUEL CHAVEZ	
PROYECTO: TESIS	FISCALIZA: ---	
UBICACIÓN: QUITO	CONSTRUYE: ---	
PROVINCIA: PICHINCHA	CANTÓN: QUITO	EMISIÓN: 2017-03-27



Muestra: Cemento asfáltico muestreado por cliente. No se proporcionan grado y origen.

Rangos normados de viscosidad (ASTM D6926 - 10): Mezclado: 0.17 ± 0.02 Pa.s

Compactación: 0.28 ± 0.03 Pa.s

Rangos de temperatura de trabajo para la muestra: Mezclado: 152.0 - 157.0 °C

Compactación: 141.5 - 146.0 °C

Carlos Mallama F.  
Responsable de Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
Responsable de Área

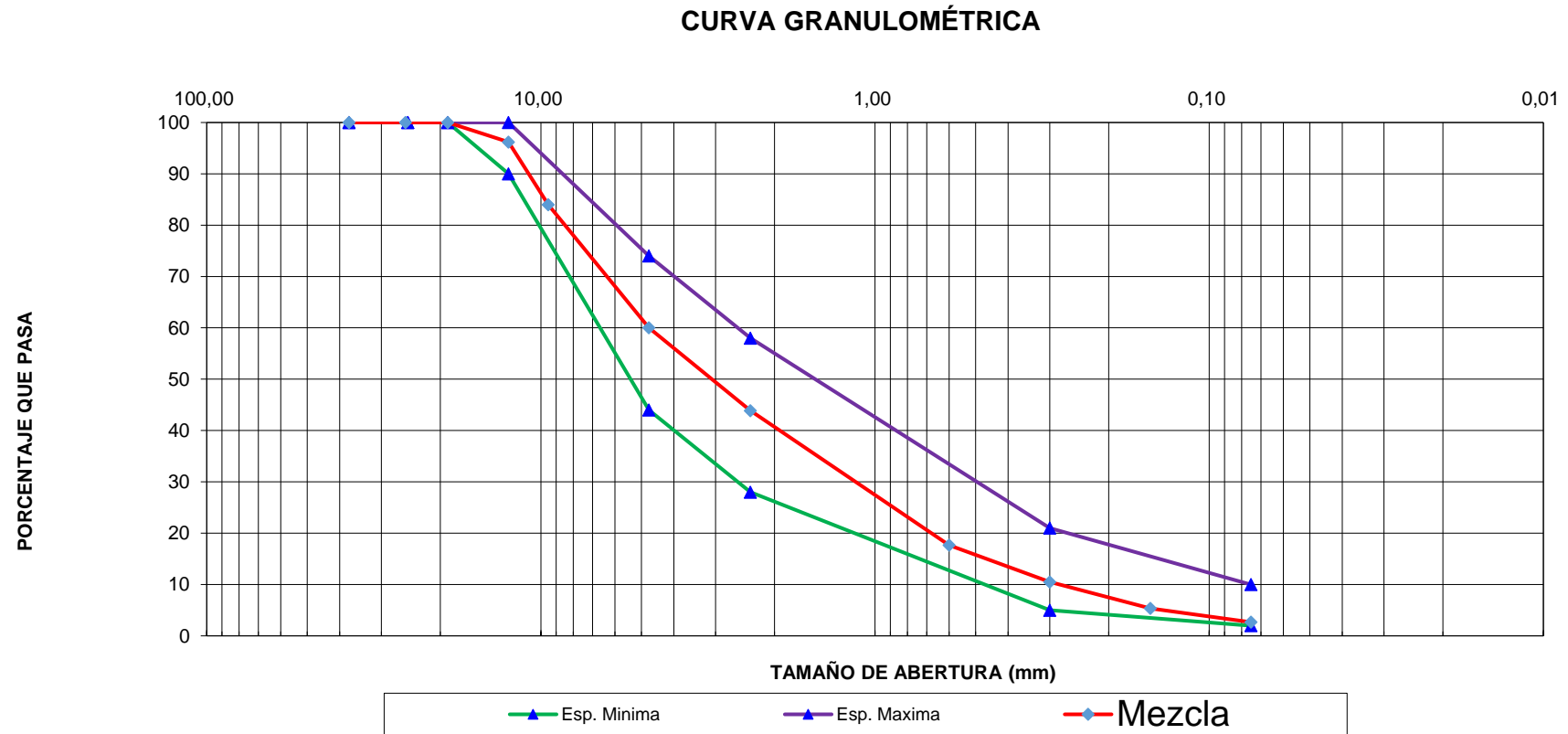
Ing. Jorge Bucheli  
Director LMC

Fuente: Informe realizado en los laboratorios de la universidad por los estudiantes de la presente disertación

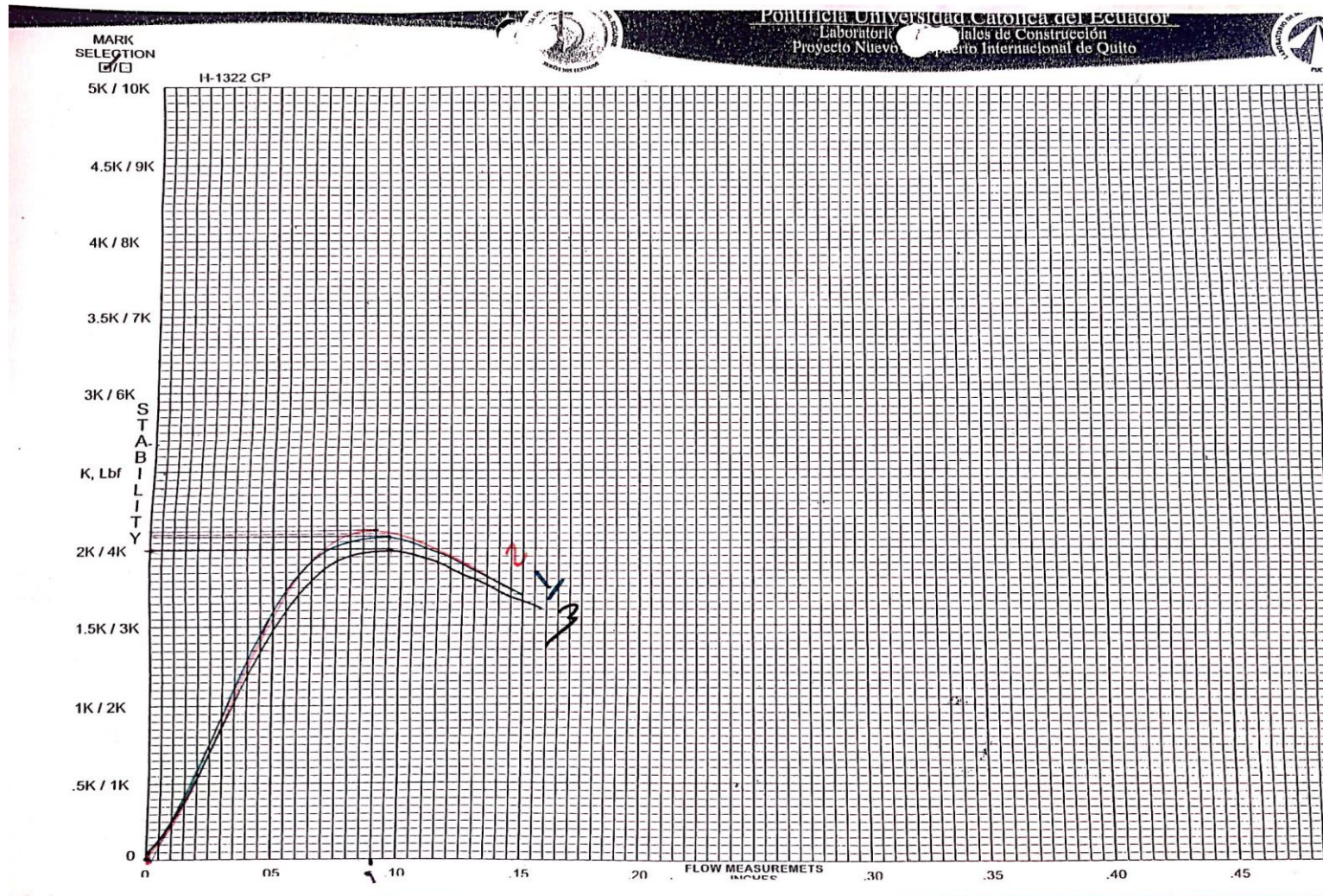
**Anexo No. 20. Mezcla de agregados**

<b>Tamiz #</b>	<b>1 1/2</b>	<b>1</b>	<b>3/4</b>	<b>1/2</b>	<b>3/8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>p #200</b>
<b>Tz mm.</b>	<b>37,50</b>	<b>25,40</b>	<b>19,00</b>	<b>12,50</b>	<b>9,50</b>	<b>4,75</b>	<b>2,36</b>	<b>0,60</b>	<b>0,30</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>p 0,075</b>
mat. A	100,00	100,00	100,00	87,35	50,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. B	100,00	100,00	100,00	99,71	88,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	73,11	29,44	17,49	8,93	4,47	
<b>Mezcla (%)</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>96,18</b>	<b>83,97</b>	<b>60,00</b>	<b>43,87</b>	<b>17,66</b>	<b>10,49</b>	<b>5,36</b>	<b>2,68</b>	
% Ret.Ac.	0,00	0,00	0,00	3,82	16,03	40,00	56,13	82,34	89,51	94,64	97,32	
% Ret.Parc.	0,00	0,00	0,00	3,82	12,21	23,97	16,13	26,20	7,17	5,14	2,68	
<b>Peso (gr)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>42,06</b>	<b>134,26</b>	<b>263,68</b>	<b>177,47</b>	<b>288,22</b>	<b>78,87</b>	<b>56,50</b>	<b>29,44</b>	<b>29,50</b>
Peso acum. (gr)	0,00	0,00	0,00	42,06	176,32	440,00	617,47	905,70	984,57	1041,06	1070,50	1100,00
<b>Espec mín</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>44</b>	<b>28</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>5</b>	<b>---</b>	<b>2</b>
<b>Espec máx</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>---</b>	<b>74</b>	<b>58</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>21</b>	<b>---</b>	<b>10</b>

### Anexo No. 21. Curva granulométrica de mezcla de agregados

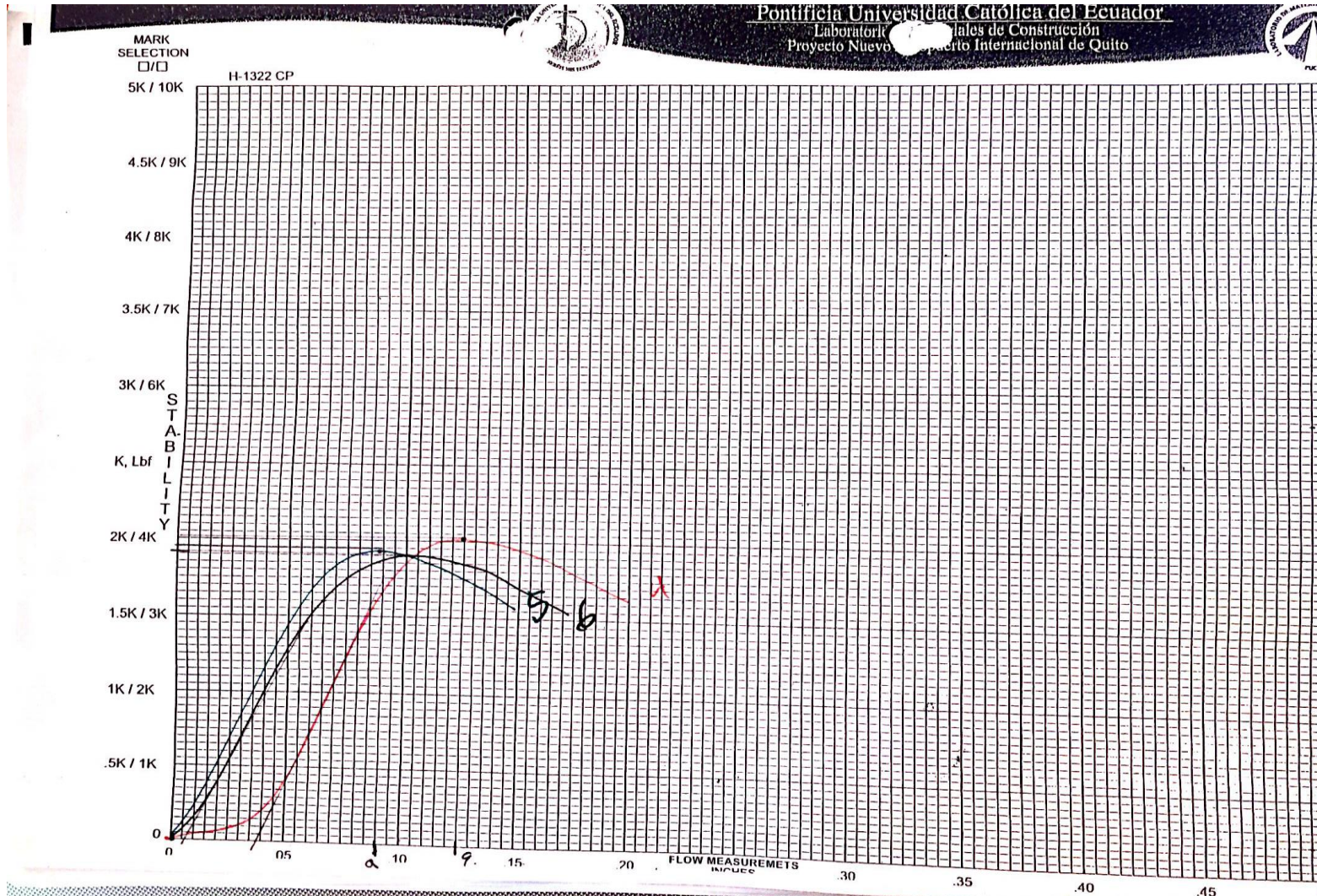


## Anexo No. 22. Ensayo Marshall mezcla original al 5%



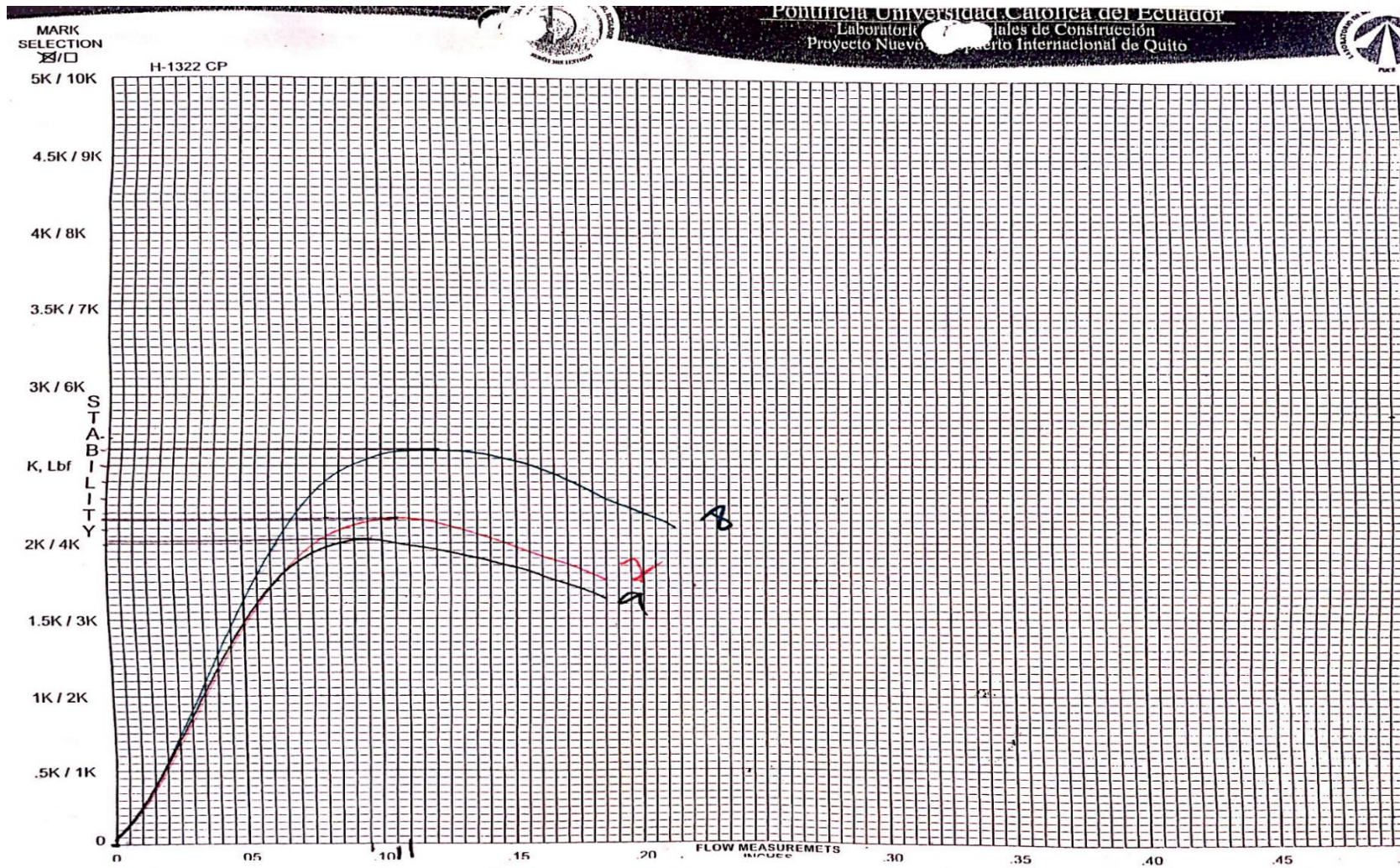


### Anexo No. 23. Ensayo Marshall mezcla original al 5.5%





# Anexo No. 24. Ensayo Marshall mezcla original al 6%





MARK SELECTION ☐/ ☐

H-1322 CP

5K / 10K

4.5K / 9K

4K / 8K

3.5K / 7K

3K / 6K

STABILITY

K, Lbf

2K / 4K

1.5K / 3K

1K / 2K

.5K / 1K

0

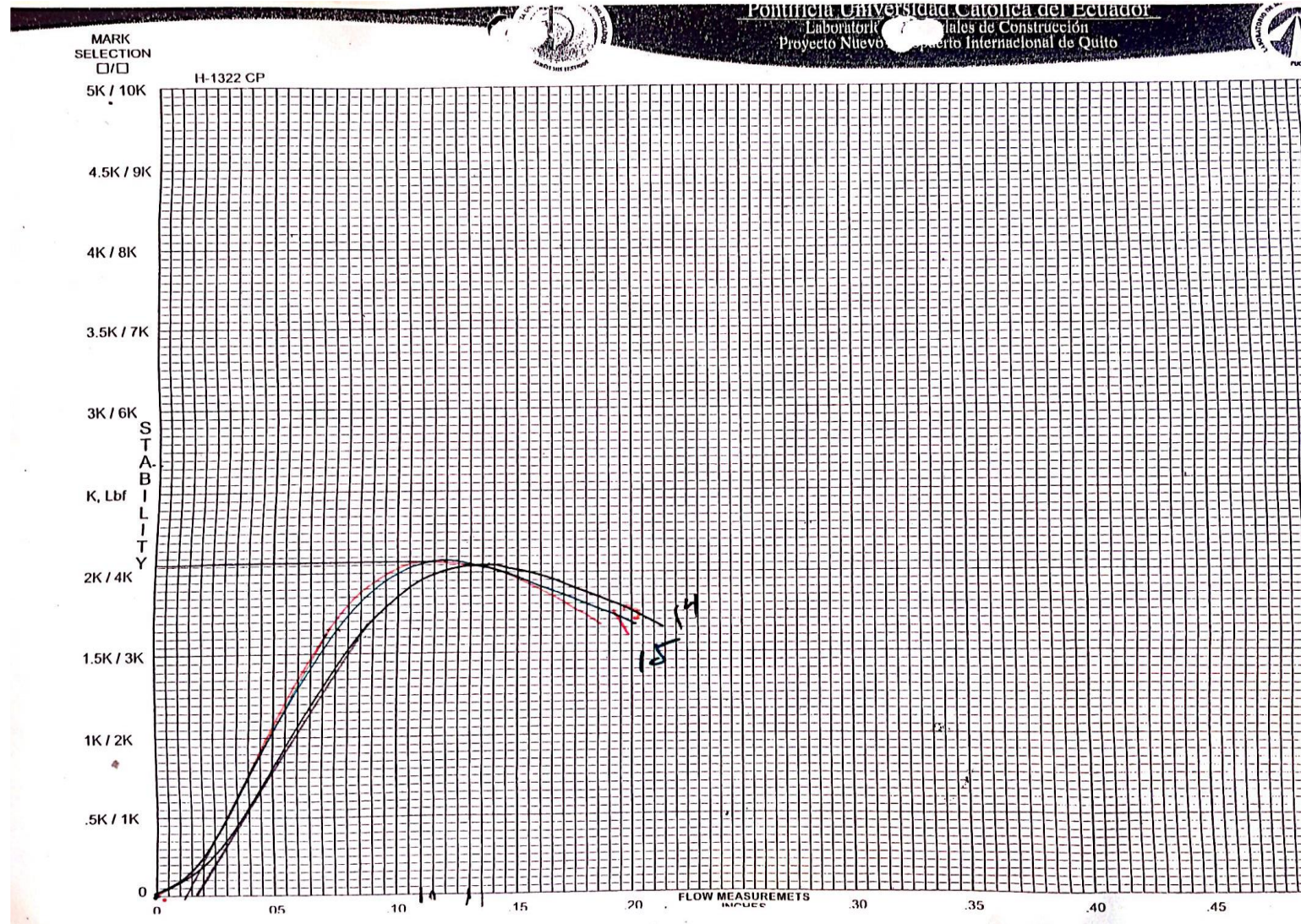
0 05 10 15 20 30 35 40 45

FLOW MEASUREMENTS INCHES

10 11 12



# Anexo No. 26. Ensayo Marshall mezcla original al 7%



**Anexo No. 27. Evaluación de estabilidad asfalto original**

<b>MUESTRA</b>	<b>% ASFALTO</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<b>1</b>	5	2100	CUMPLE
<b>2</b>	5	2150	CUMPLE
<b>3</b>	5	2000	CUMPLE
<b>4</b>	5,5	2000	CUMPLE
<b>5</b>	5,5	1950	CUMPLE
<b>6</b>	5,5	1900	CUMPLE
<b>7</b>	6	2150	CUMPLE
<b>8</b>	6	2600	CUMPLE
<b>9</b>	6	2050	CUMPLE
<b>10</b>	6,5	2150	CUMPLE
<b>11</b>	6,5	2250	CUMPLE
<b>12</b>	6,5	2200	CUMPLE
<b>13</b>	7	2050	CUMPLE
<b>14</b>	7	2050	CUMPLE
<b>15</b>	7	2050	CUMPLE

**Anexo No. 28. Evaluación de flujo asfalto original**

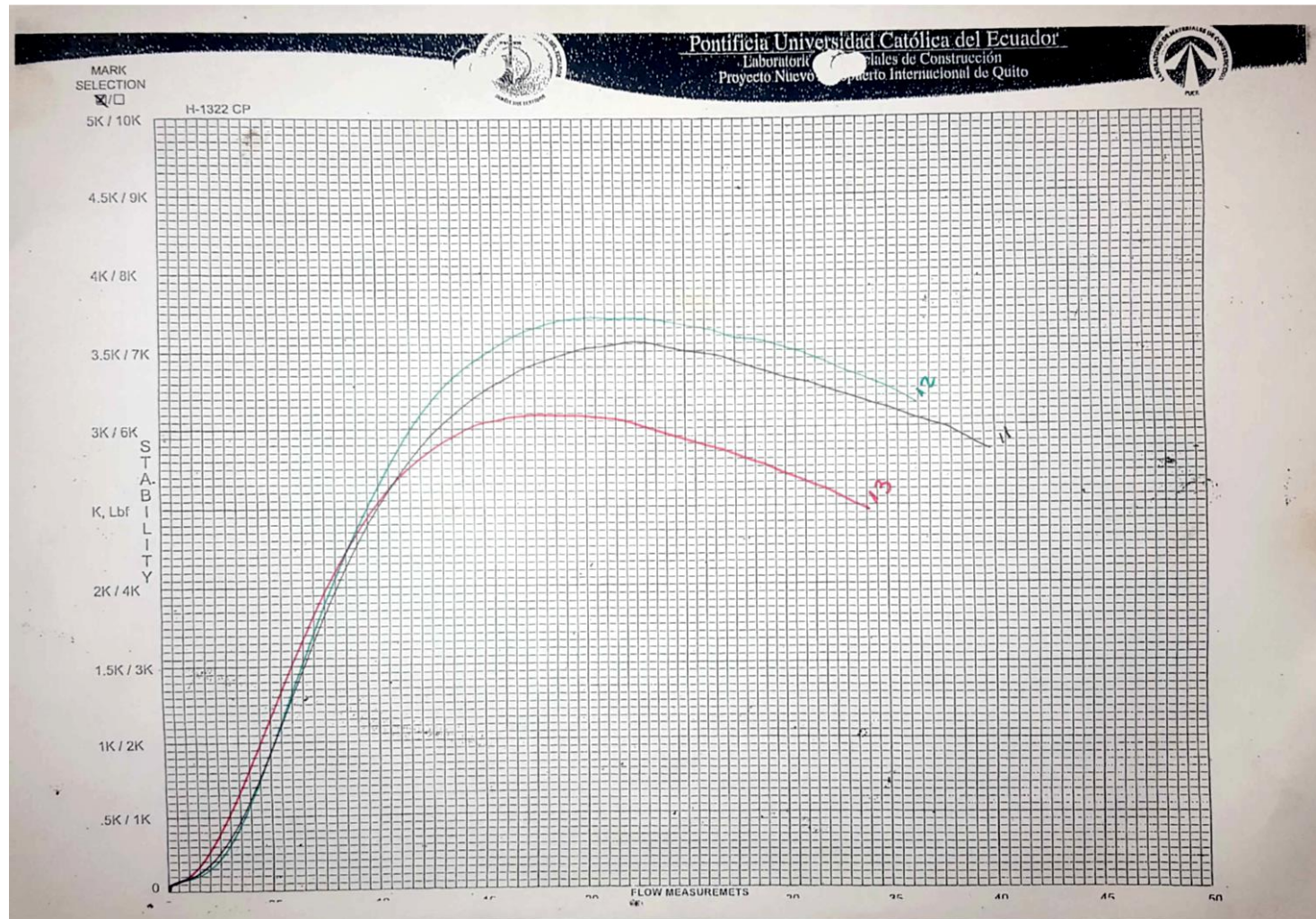
<b>MUESTRA</b>	<b>% ASFALTO</b>	<b>FLUJO</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<b>1</b>	5	9,5	CUMPLE
<b>2</b>	5	9	CUMPLE
<b>3</b>	5	9,5	CUMPLE
<b>4</b>	5,5	9	CUMPLE
<b>5</b>	5,5	9	CUMPLE
<b>6</b>	5,5	9,5	CUMPLE
<b>7</b>	6	10,5	CUMPLE
<b>8</b>	6	11	CUMPLE
<b>9</b>	6	9,5	CUMPLE
<b>10</b>	6,5	10,5	CUMPLE
<b>11</b>	6,5	11,5	CUMPLE
<b>12</b>	6,5	11	CUMPLE
<b>13</b>	7	10	CUMPLE
<b>14</b>	7	11,5	CUMPLE
<b>15</b>	7	10,5	CUMPLE

**Anexo No. 29. Calculo de propiedades mecánicas de la mezcla original**

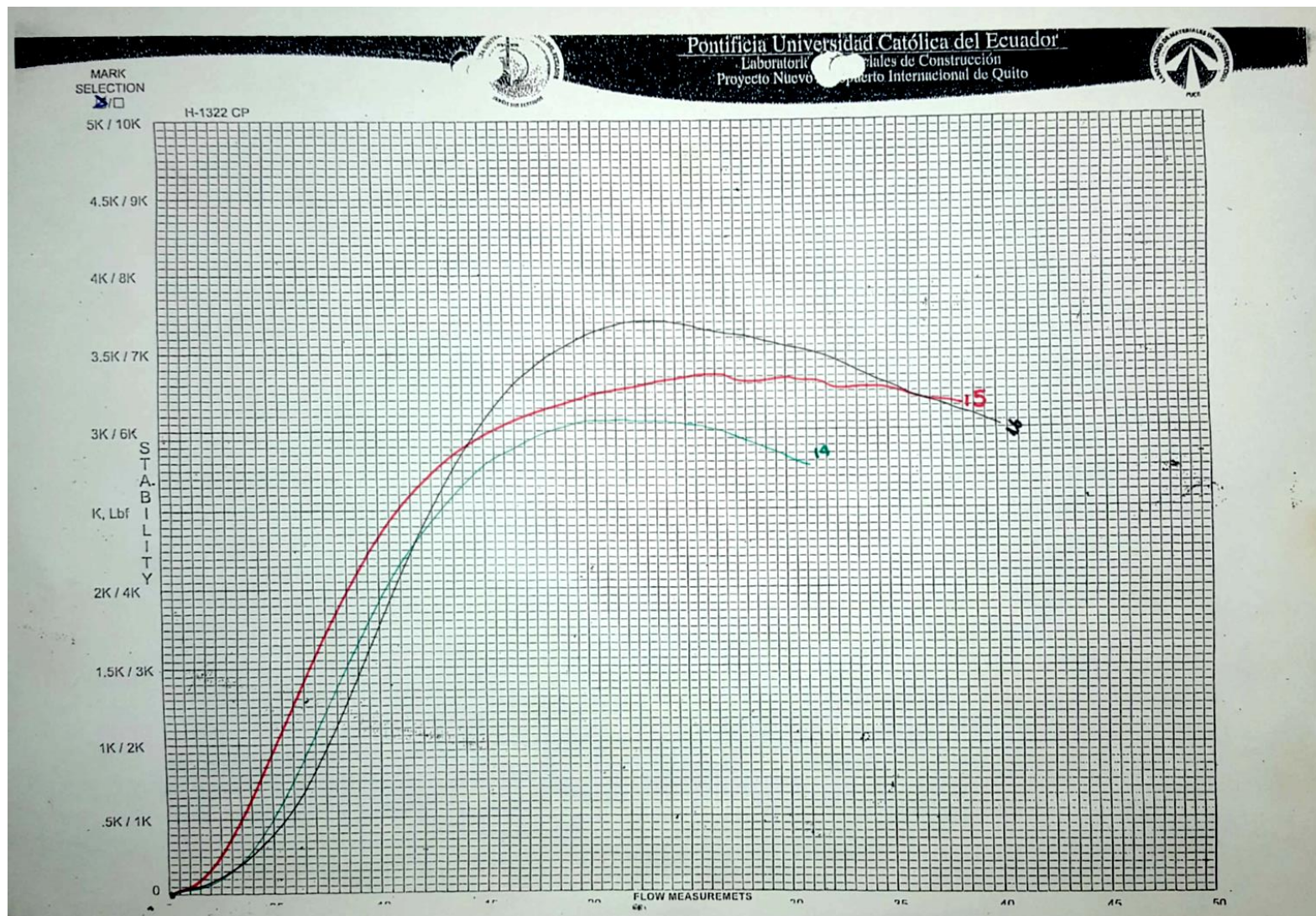
<b>RESUMEN DE DATOS</b>						
<b>% asfalto</b>	<b>Bulk</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Flujo</b>	<b>Va</b>	<b>VAM</b>	<b>VAF</b>
5,0	2,483	2100	10	11,40	22,71	49,82
5,0	2,483	2150	9	11,28	22,61	50,11
5,0	2,483	2000	10	11,43	22,74	49,73
5,5	2,444	2000	9	9,63	22,69	49,89
5,5	2,444	1950	9	9,46	22,81	57,80
5,5	2,444	1900	10	9,47	22,67	58,26
6,0	2,429	2150	11	8,73	22,72	58,10
6,0	2,429	2600	11	7,86	22,94	61,94
6,0	2,429	2050	10	8,08	22,20	64,60
6,5	2,407	2150	11	6,70	22,51	63,48
6,5	2,407	2250	12	6,85	22,35	70,02
6,5	2,407	2200	11	6,49	22,48	69,52
7,0	2,390	2050	10	4,95	22,33	70,09
7,0	2,390	2050	12	5,42	21,87	77,36
7,0	2,390	2050	11	5,88	22,26	75,67



### Anexo No. 30. Ensayo Marshall de mezcla modificada (10% plástico)

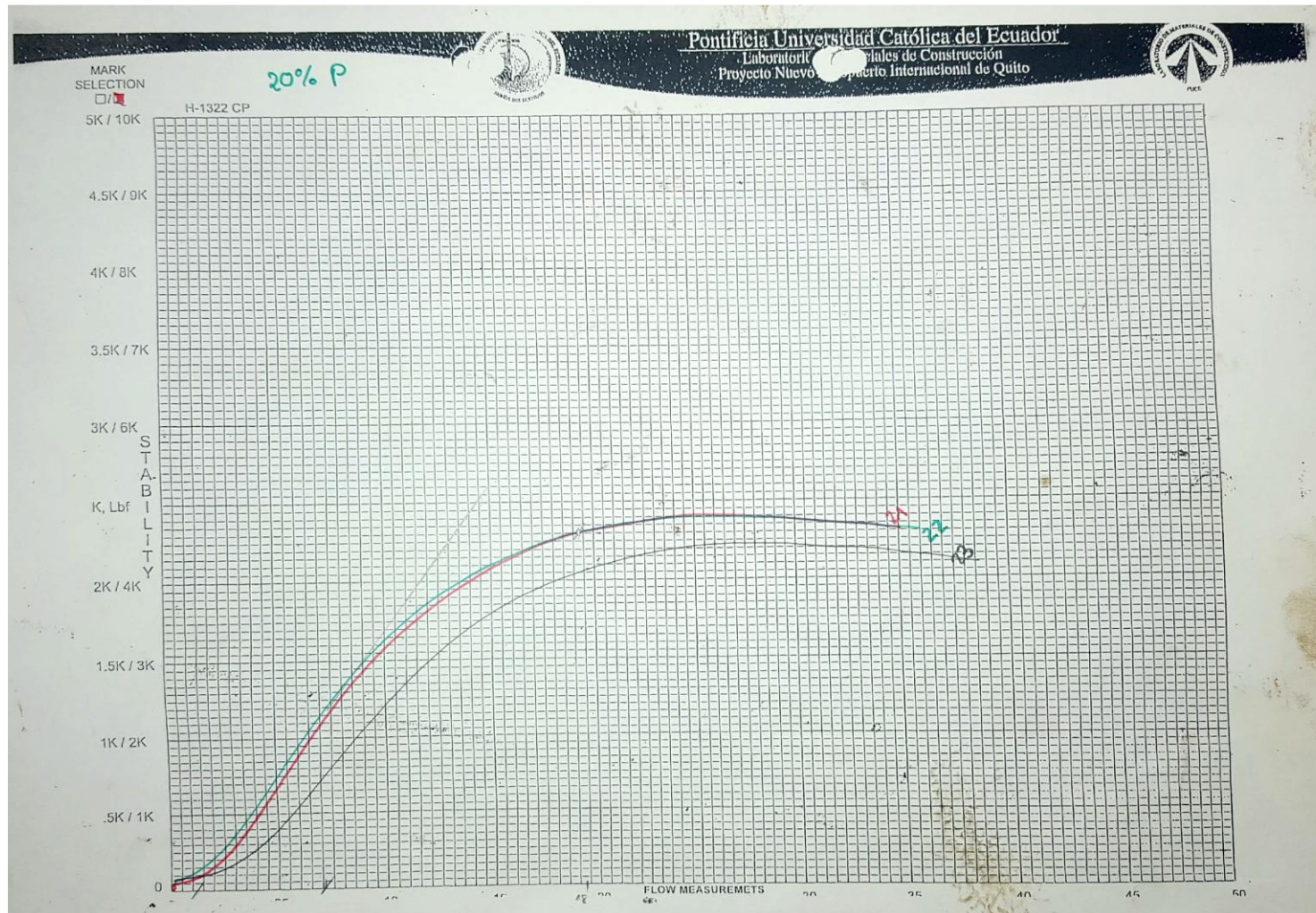




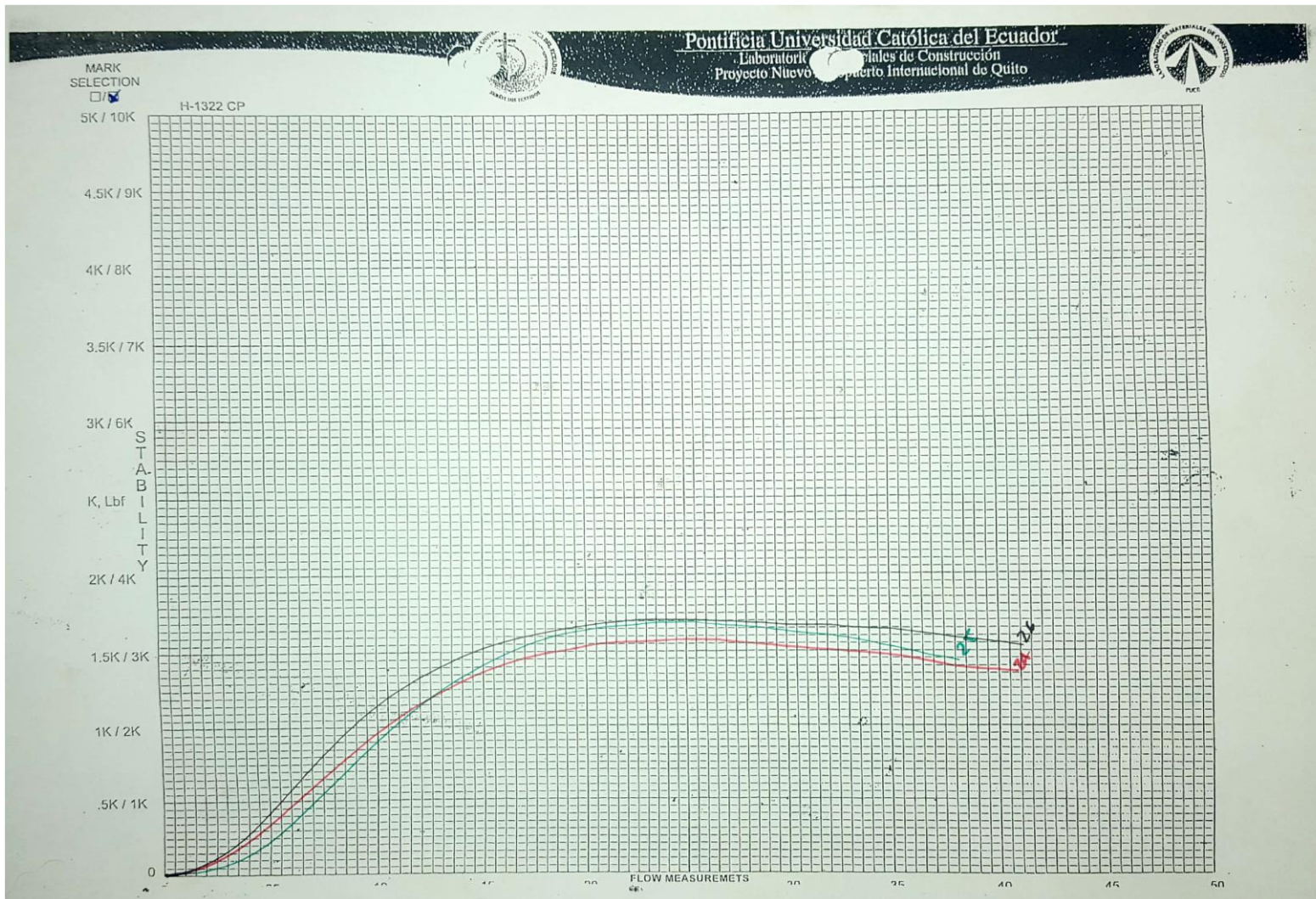




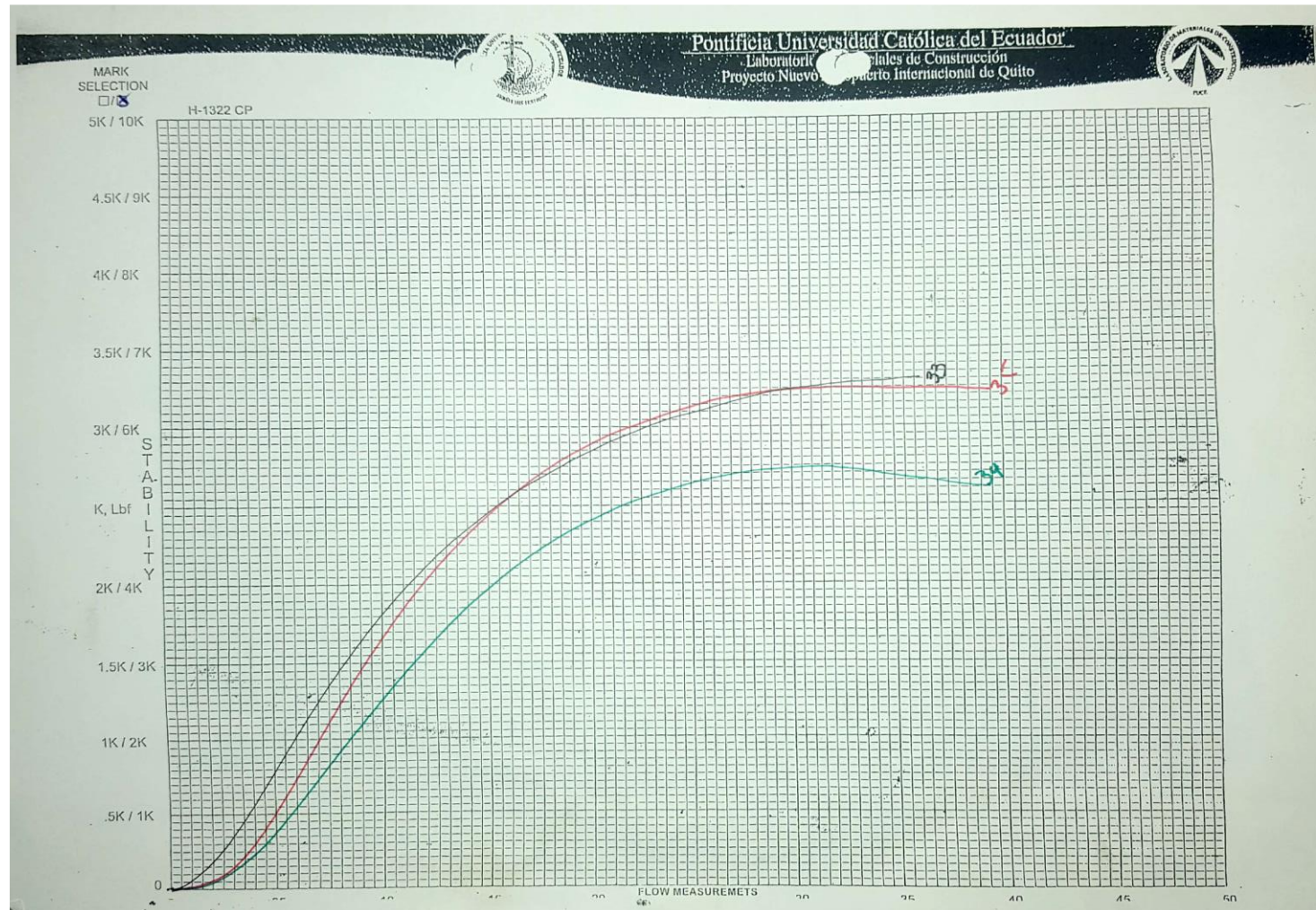
### Anexo No. 31. Ensayo Marshall de mezcla modificada (20% plástico)





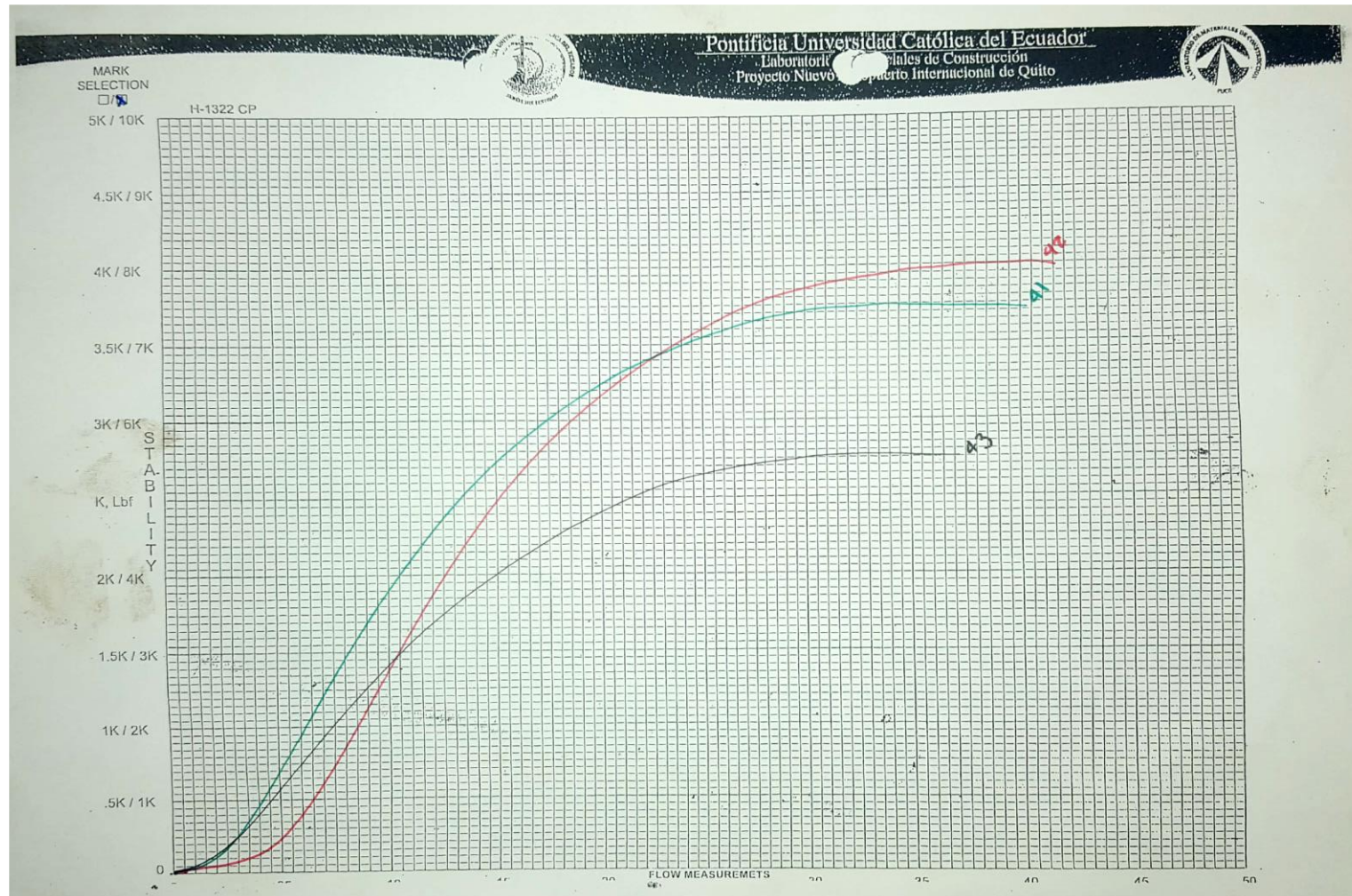


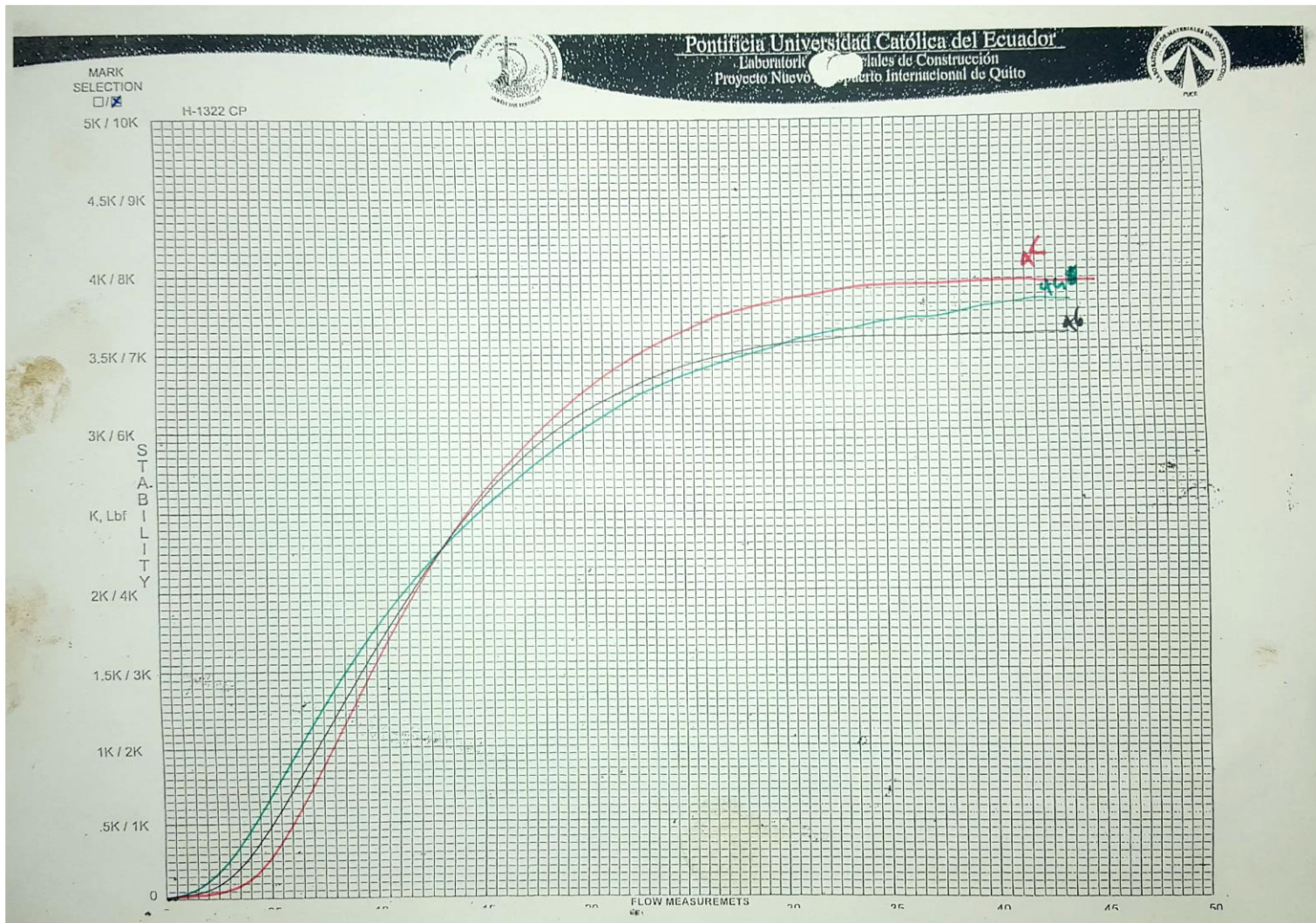
### Anexo No. 32. Ensayo Marshall de mezcla modificada (30% plástico)





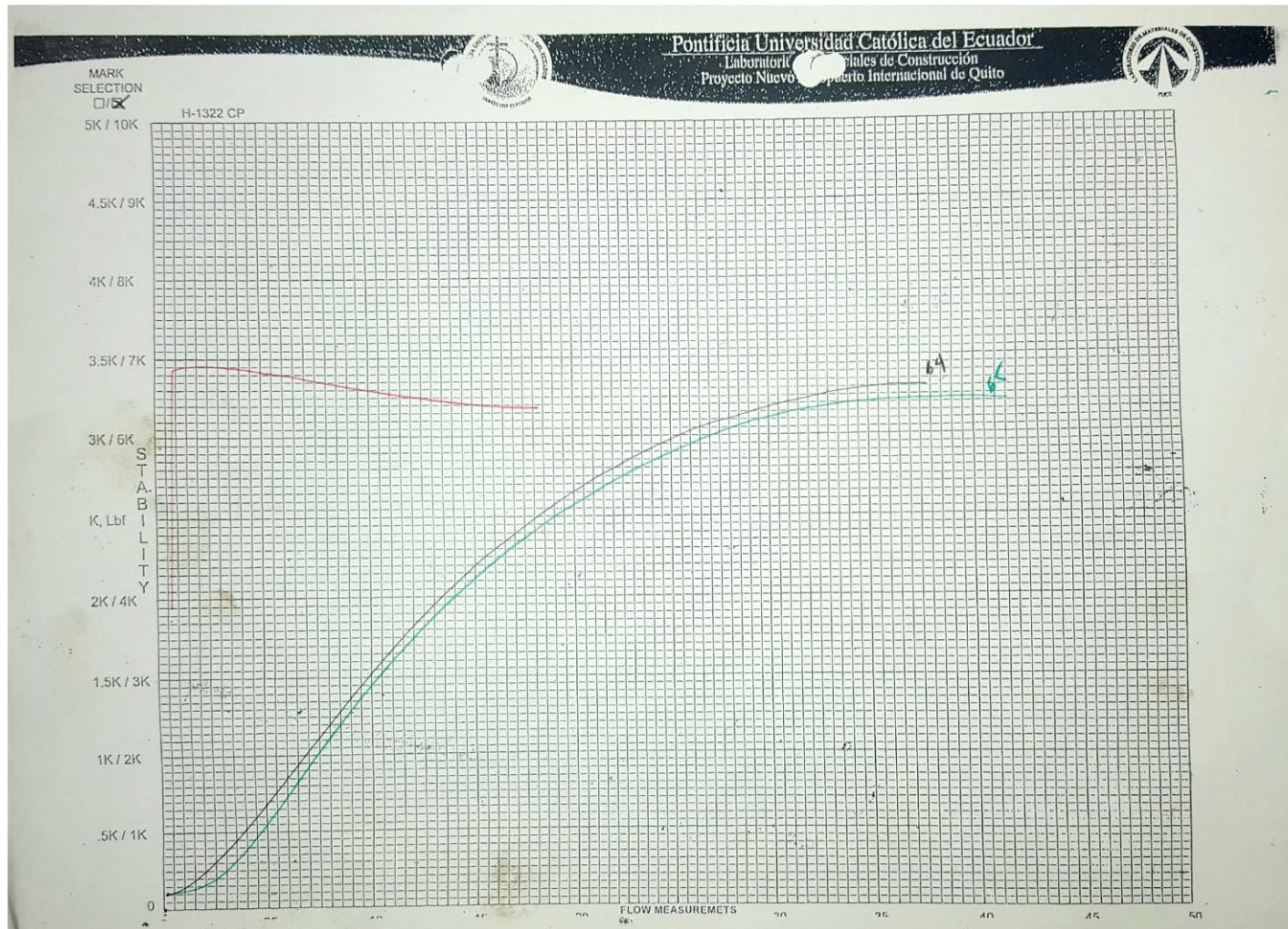
### Anexo No. 33. Ensayo Marshall de mezcla modificada (40% plástico)

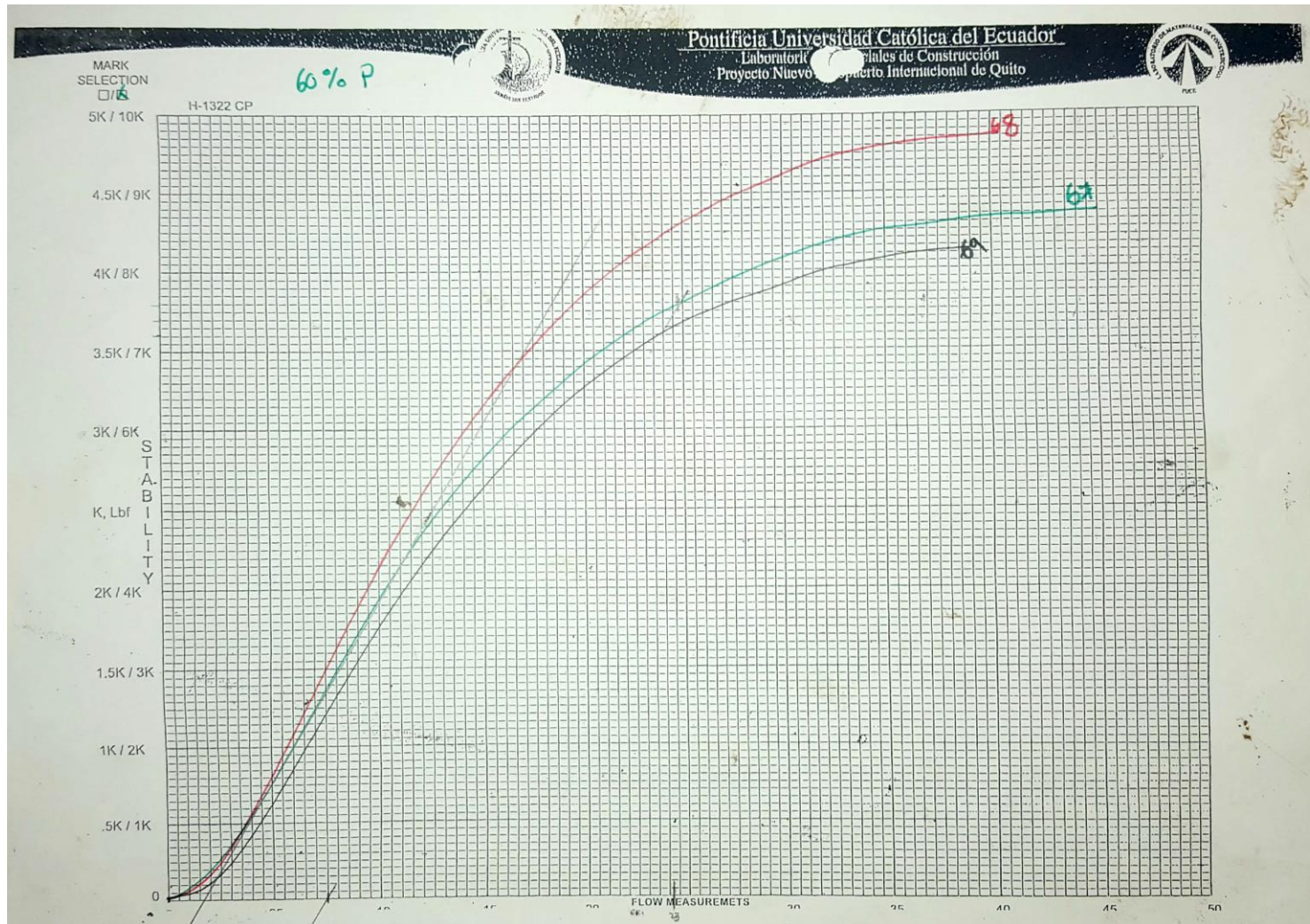






### Anexo No. 34. Ensayo Marshall de mezcla modificada (60% plástico)



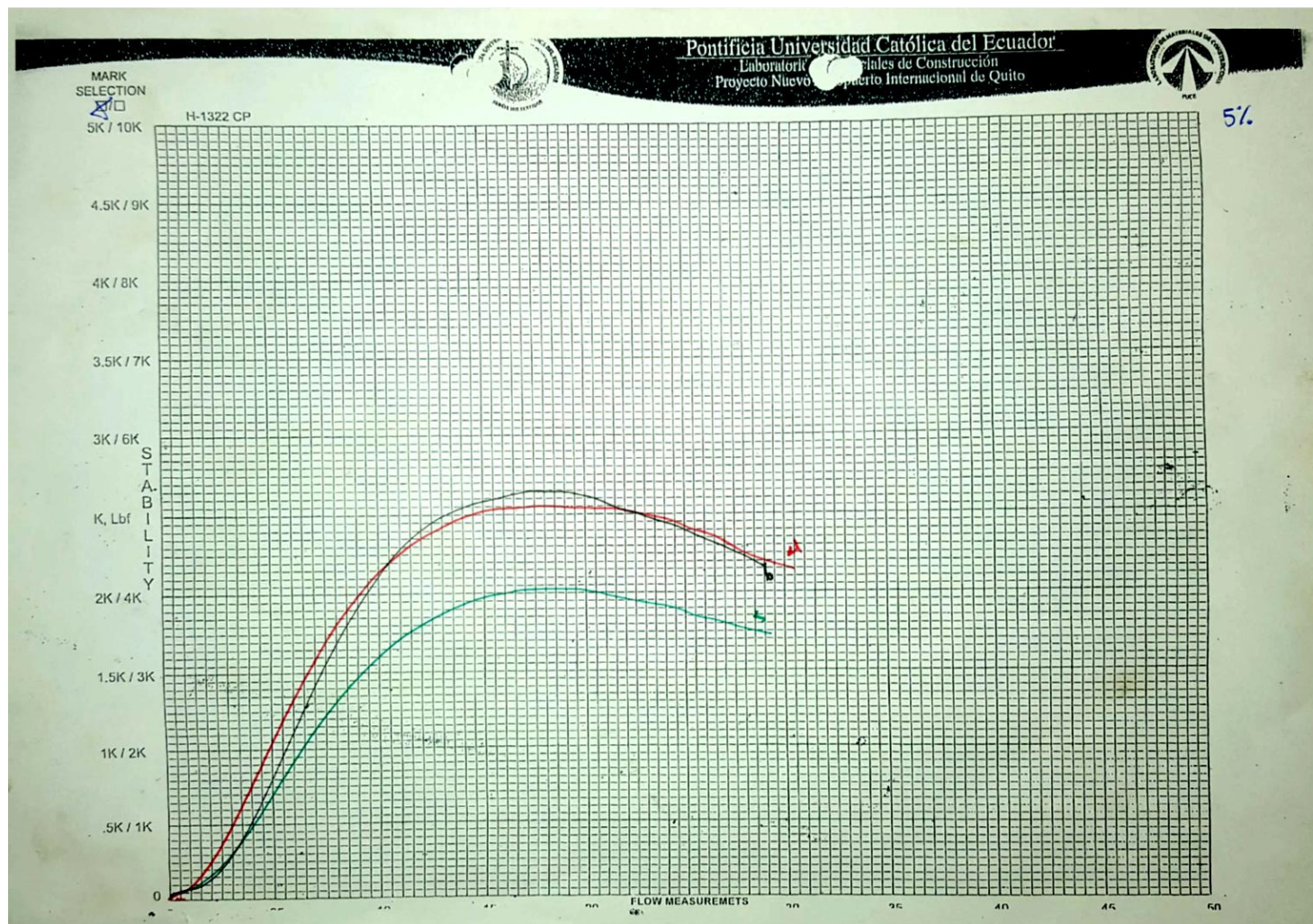


**Anexo No. 35. Cálculos de propiedades mecánicas de mezcla asfáltica con plástico**

RESUMEN DE DATOS							
% asfalto	% plástico	Bulk	Estabilidad	Flujo	Va	VAM	VAF
6,2	0,0	2,415	2170	11	7,50	22,56	63,85
6,2	10,0	2,188	3150	16	4,94	24,11	79,50
6,2	10,0	2,207	3050	17	4,11	23,45	82,46
6,2	10,0	2,193	3700	15	4,71	23,92	80,31
6,2	10,0	2,199	3450	16	4,44	23,71	81,27
6,2	10,0	2,199	3700	16	4,48	23,74	81,13
6,2	10,0	2,212	3075	18	3,87	23,25	83,35
6,2	20,0	2,118	4600	17	5,74	26,54	78,35
6,2	20,0	2,104	4600	18	6,37	27,03	76,42
6,2	20,0	2,098	4250	19	6,61	27,21	75,72
6,2	20,0	2,108		18	6,19	26,89	76,97
6,2	20,0	2,114		17	5,93	26,68	77,77
6,2	20,0	2,108		18	6,18	26,87	77,03
6,2	30,0	2,090			4,93	27,49	82,07
6,2	30,0	2,082			5,31	27,79	80,87
6,2	30,0	2,103	5700	19	4,35	27,05	83,92
6,2	30,0	2,111	5900	19	4,00	26,78	85,08
6,2	30,0	2,128	5150	21	3,23	26,20	87,67
6,2	40,0	2,068	7150	21	3,89	28,26	86,24
6,2	40,0	2,084	6850	20	3,16	27,71	
6,2	40,0	2,013		22	6,44	30,17	
6,2	40,0	2,042	6350	20	5,12	29,18	
6,2	40,0	2,086	7150	20	3,05	27,64	88,95
6,2	40,0	2,078	6700	21	3,45	27,93	87,65
6,2	60,0	1,915		24	6,96	33,58	79,26
6,2	60,0	1,896		23	7,90	34,25	76,92
6,2	60,0	1,903		23	7,52	33,98	77,86
6,2	60,0	1,911	7550	23	7,14	33,71	78,81
6,2	60,0	1,931	8450	22	6,18	33,02	81,29
6,2	60,0	1,904	7350	23	7,49	33,95	77,94



**Anexo No. 36. Ensayo Marshall mezcla modificada (porcentaje óptimo de plástico 5%)**





## Anexo No. 37. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla original

EN 12697-26

**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test: mar, 21 de nov de 2017 @ 9:10  
 Report Number:   
 Operator: Jhovanny  
 Specimen ID: Briqueta 1  
 Client Name:

Lab Address: Quito  
 Ecuador

Test Temperature (°)	25
Bulk Density (kg/m3)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	64

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5

Pulse 1A

Pulse 2A

Pulse 3A

Pulse 4A

Pulse 5A

Pulse 1B

Pulse 2B

Pulse 3B

Pulse 4B

Pulse 5B

**Test Results**

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.467	0.462	0.462	0.463	0.462	0.463	0.542	0.539	0.539	0.540	0.539	0.540	<b>0.502</b>
Horizontal Stress (kPa)	45.7	45.2	45.2	45.3	45.2	45.3	53.1	52.8	52.8	52.9	52.8	52.9	<b>49.1</b>
Load-Area Factor	0.75	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.80	0.81	0.82	0.82	0.81	0.81	<b>0.78</b>
Horizontal Deformation (um)	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	<b>5.34</b>
Load Rise Time (ms)	76	76	74	77	75	76	128	129	129	129	128	129	<b>102</b>
Measured Stiffness (MPa)	983	1057	1108	1147	1166	1092	1300	1474	1529	1549	1566	1484	<b>1288</b>
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1040	1121	1176	1216	1235	1158	1410	1610	1674	1697	1713	1621	<b>1389</b>

## Anexo No. 38. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla original

EN 12697-26



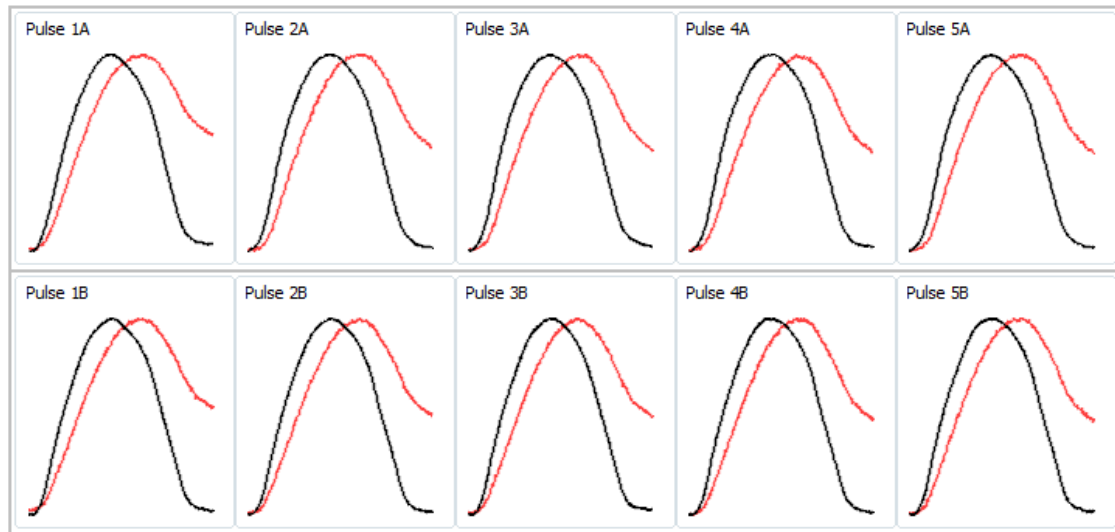
### Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test mar, 21 de nov de 2017 @ 9:40  
Report Number  
Operator Jhovanny  
Specimen ID Briqueta 3  
Client Name

Lab Address Quito  
Ecuador

Test Temperature (°)	25
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	64

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (µm)	5



### Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.621	0.608	0.606	0.607	0.611	0.611	0.570	0.571	0.572	0.569	0.567	0.570	<b>0.590</b>
Horizontal Stress (kPa)	60.7	59.4	59.3	59.3	59.7	59.7	55.7	55.8	55.9	55.6	55.4	55.7	<b>57.7</b>
Load-Area Factor	0.80	0.81	0.82	0.83	0.81	0.81	0.88	0.86	0.89	0.91	0.90	0.89	<b>0.85</b>
Horizontal Deformation (µm)	4.53	4.53	4.53	4.53	4.53	4.53	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	<b>4.72</b>
Load Rise Time (ms)	122	124	123	121	125	123	183	193	186	183	182	186	<b>154</b>
Measured Stiffness (MPa)	1616	1873	1907	1918	1957	1854	1437	1508	1534	1562	1574	1523	<b>1689</b>
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1759	2061	2105	2123	2149	2039	1613	1680	1733	1775	1786	1717	<b>1878</b>

## Anexo No. 39. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla modificada

N 12697-26

**Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005**

Date of Test: mar, 21 de nov de 2017 @ 9:51

Report Number:

Operator: Jhovanny

Specimen ID: Briqueta 4

Client Name:

Lab Address: Quito  
Ecuador

Test Temperature (°)	25
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	65

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (µm)	5

**Test Results**

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.568	0.558	0.559	0.559	0.558	0.560	0.555	0.536	0.535	0.529	0.528	0.536	<b>0.548</b>
Horizontal Stress (kPa)	54.4	53.4	53.6	53.6	53.4	53.7	53.1	51.3	51.2	50.7	50.6	51.4	<b>52.5</b>
Load-Area Factor	0.82	0.86	0.84	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	0.84	0.85	<b>0.85</b>
Horizontal Deformation (µm)	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.04	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	<b>5.16</b>
Load Rise Time (ms)	131	124	126	128	127	127	125	122	122	125	125	124	<b>125</b>
Measured Stiffness (MPa)	1330	1479	1499	1510	1514	1466	1207	1332	1363	1358	1361	1324	<b>1395</b>
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1453	1647	1655	1676	1677	1622	1324	1469	1509	1509	1500	1462	<b>1542</b>

## Anexo No. 40. Ensayo Módulo de Rigidez mezcla modificada

EN 12697-26



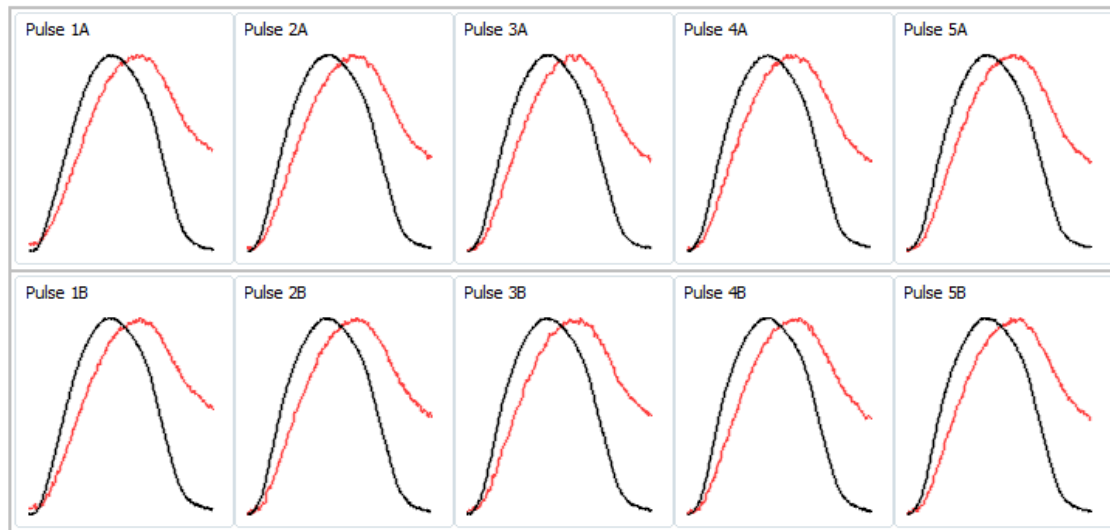
### Stiffness Modulus: EN 12697-26: Annex C. April 2005

Date of Test: jue, 23 de nov de 2017 @ 10:  
 Report Number:  
 Operator: Jhovanny  
 Specimen ID: Briqueta 5 (2)  
 Client Name:

Lab Address: Quito  
 Ecuador

Test Temperature (°)	25
Bulk Density (kg/m <sup>3</sup> )	0
Diameter (mm)	101
Thickness (mm)	64

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	124
A & B Target Deformation (um)	5



### Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0.582	0.576	0.580	0.583	0.581	0.580	0.566	0.567	0.564	0.566	0.565	0.566	<b>0.573</b>
Horizontal Stress (kPa)	57.0	56.4	56.8	57.2	56.9	56.9	55.5	55.5	55.3	55.5	55.4	55.4	<b>56.1</b>
Load-Area Factor	0.79	0.78	0.78	0.78	0.79	0.78	0.77	0.77	0.81	0.80	0.80	0.79	<b>0.79</b>
Horizontal Deformation (um)	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	<b>4.69</b>
Load Rise Time (ms)	126	124	126	126	122	125	130	130	124	124	125	127	<b>126</b>
Measured Stiffness (MPa)	1457	1567	1591	1601	1620	1567	1406	1522	1547	1573	1598	1529	<b>1548</b>
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1576	1694	1720	1728	1760	1696	1509	1637	1688	1714	1738	1657	<b>1676</b>

**Anexo No. 41. Resumen Módulo de Rigidez de las mezclas asfálticas**

<b>Muestra</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>% Plástico</b>	<b>Deformación Lateral (um)</b>	<b>Módulo de Rigidez (MPa)</b>
1	6.2	0	5.34	1389
2	6.2	0	5.16	1542
3	-	-	-	-
4	6.2	5	4.72	1878
5	6.2	5	4.69	1676
6	-	-	-	-